

## **ESTUDO DE CONCEPÇÃO DE BIOFILTRO EM UMA REGIÃO COSTEIRA - ESTUDO DE CASO DISTRITO DO CAMPECHE, FLORIANOPOLIS/BRASIL**

**Laura Beneti Assunção**

Laura Beneti Assunção

**ESTUDO DE CONCEPÇÃO DE BIOFILTRO EM UMA REGIÃO  
COSTEIRA- ESTUDO DE CASO DISTRITO DO CAMPECHE,  
FLORIANOPOLIS/ BRASIL**

Trabalho submetido à banca  
examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do  
Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e  
Ambiental – TCC II

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Assunção, Laura Beneti

Estudo de concepção de biofiltro em uma região costeira. Estudo de caso Distrito do Campeche, Florianópolis/ Brasil / Laura Beneti Assunção ; orientador, Alexandra Rodrigues Finotti, coorientador, Elisa Ferreira Pacheco, 2017.

99 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

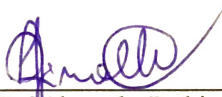
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Biofiltro. 3. Região costeira. 4. Dimensionamento. 5. Técnicas Compensatórias. I. Finotti, Alexandra Rodrigues. II. Pacheco, Elisa Ferreira. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Laura Beneti Assunção

**ESTUDO DE CONCEPÇÃO DE BIOFILTRO EM UMA REGIÃO  
COSTEIRA- ESTUDO DE CASO DISTRITO DO CAMPECHE,  
FLORIANOPOLIS/ BRASIL**

Trabalho submetido à banca  
examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do  
Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e  
Ambiental – TCC II

**Banca Examinadora:**



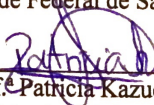
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alexandra Rodrigues Finotti  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



Msc. Elisa Ferreira Pacheco  
Coorientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.<sup>a</sup> Maria Elisa Magri  
Membro da banca  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.<sup>a</sup> Patrícia Kazue Uda  
Membro da banca  
Universidade Federal de Santa Catarina



## RESUMO

A crescente urbanização aliada a sistemas convencionais de drenagem, águas subterrâneas rasas e cenários futuros de mudanças climáticas formam um conjunto de ameaça para as cidades localizadas em zonas litorâneas, que podem sofrer com alagamentos e poluição das águas. No entanto, o uso de técnicas compensatórias de filtração/infiltração parece ser uma alternativa para o gerenciamento sustentável de águas pluviais nestas regiões. Neste contexto, este trabalho visa o planejamento de um biofiltro no Distrito do Campeche, Florianópolis/SC. A metodologia aplicada para seleção das áreas de contribuição e instalação levou em consideração o tamanho da área de drenagem, altura mínima do lençol freático, integração com projetos municipais, presença de áreas comerciais e residenciais e de fácil visibilidade pela população. Foi atribuído ao biofiltro o objetivo principal de tratamento de contaminantes, estabelecendo-se a altura do meio filtrante de 0,6 m, composto por uma mistura de areia, silte e humus. A zona de drenagem foi composta por brita em uma camada de 0,5 m de altura seguida de uma camada de transição formada por areia grossa e altura 0,1m. Uma altura de 0,2 m foi atribuída para a superfície de represamento. Como resultados das análises dos mapas de drenagem e níveis do lençol freático, bem como pesquisas junto ao site da Prefeitura de Florianópolis, foram selecionadas duas áreas ótimas para a instalação do biofiltro. Ambas localizadas numa área de crescente urbanização, intenso tráfego de veículos e sobre uma zona insaturada do Aquífero do Campeche com profundidade variando entre 2 e 5 m. O dimensionamento foi realizado através do método da curva-envelope, com curva de intensidade-duração-frequência do município de Florianópolis. A primeira área de contribuição é uma rua pavimentada de 350 m<sup>2</sup> e o biofiltro dimensionado resultou numa célula de 25,2 m<sup>2</sup>. A segunda área de drenagem é também uma rua pavimentada, porém com uma área de 2875 m<sup>2</sup>, sendo calculada uma célula de 222 m<sup>2</sup>. Para a vegetação, foi sugerido o capim vetiver em 50% da área do biofiltro. Para os 50% restantes foram selecionadas plantas nativas da região ameaçadas de extinção. No entanto, recomenda-se para trabalhos futuros uma análise aprofundada das plantas mais adequadas para a remoção de contaminantes.

**Palavras-chave:** Biofiltro, região costeira, dimensionamento, técnicas compensatórias



## ABSTRACT

Growing urbanization coupled with conventional drainage systems, shallow groundwater, and future scenarios of climate change form a threat to cities located in coastal areas that may suffer from flooding and water pollution. However, the use of compensatory filtration / infiltration techniques seems to be an alternative for the sustainable management of rainwater in these regions. In this context, this work intends the planning of a biofilter in the District of Campeche, Florianópolis / SC. The methodology applied to the selection of contribution and installation areas took into account the size of the drainage area, minimum water table height, integration with municipal projects, presence of commercial and residential areas and easy visibility by the population. The main objective of treatment of contaminants was assigned to the biofilter, establishing the height of the filter medium of 0.6 m, composed of a mixture of sand, silt and humus. The drainage zone was composed of gravel in a layer of 0.5 m height followed by a transition layer formed by coarse sand and height 0.1 m. A height of 0.2 m was attributed to the ponding surface. As a result of the analysis of the drainage maps and groundwater levels, as well as researches at the Florianópolis Council website, two optimal areas for the installation of the biofilter were selected. Both are located in an area of increasing urbanization, intense traffic of vehicles and on an unsaturated zone of the Aquifer of the Campeche with depth varying between 2 and 5 m. The sizing was performed using the rain-envelop method, with intensity-duration-frequency curve of the municipality of Florianópolis. The first contribution area is a paved road of 350 m<sup>2</sup> and the biofilter sizing resulted in a 25.2 m<sup>2</sup> cell. The second drainage area is also a paved road, with an area of 2875 m<sup>2</sup>, being calculated a cell of 222 m<sup>2</sup>. For vegetation, vetiver grass was suggested in 50% of the biofilter area. For the remaining 50%, native plants of the region were threatened with extinction. However, it is recommended for future work an in-depth analysis of the most suitable plants for the removal of contaminants.

**Keywords:** Biofiltration, coastlines, sizing, compensatory techniques.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tratamento de águas pluviais.....	5
Figura 2: Processo para o planejamento de Técnicas Compensatórias .....	8
Figura 3: (a) Biofiltro de infiltração; (b) Célula de biofiltração em Portland, Oregon.....	10
Figura 4: Utilização de pedras (esquerda) e vegetação densa (direita) na zona de entrada do biofiltro. ....	18
Figura 5: Evolução da condutividade hidráulica durante os primeiros 20 meses de um sistema de biorretenção.....	19
Figura 6: Condutividade hidráulica recomendada e potenciais riscos.....	22
Figura 7: Volume de armazenamento necessário para manter a vazão de pico atual. ....	28
Figura 8: Curva envelope .....	29
Figura 9: Estruturação do trabalho .....	34
Figura 10: Localização do Distrito do Campeche .....	36
Figura 11: Localização da área de contribuição para Opção 1 ..	45
Figura 12: Local de construção para Opção 1. ....	45
Figura 13: Volume inicial do biofiltro (Opção 1).....	47
Figura 14: Volume final do biofiltro (Opção 1) .....	48
Figura 15: Dimensões do biofiltro para Opção 1 em perfil e planta baixa. ....	49
Figura 16: Localização da área de contribuição da Opção 2. ....	50
Figura 17: Local de construção para Opção 2. ....	51
Figura 18: Projeto PACUCA.....	52
Figura 19: Gráfico inicial do volume do biofiltro (Opção 2).....	53
Figura 20: Volume final do biofiltro (Opção 2) .....	54
Figura 21: Dimensões do biofiltro para Opção 2 em perfil e planta baixa.....	55
Figura 22: Capim Vetiver .....	56



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Elementos de projeto para estudo de biofiltros.....	14
Quadro 2: Tipos de vegetações usadas em biofiltros no Brasil. .	20
Quadro 4: Vegetação pré-selecionada para ornamentação do biofiltro.....	57



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Concentrações médias de contaminantes de acordo com uso da terra. ....	6
Tabela 2: Altura máxima da camada de represamento relativa à taxa de infiltração e tempo.....	17
Tabela 3: Distribuição das partículas no meio filtrante .....	22
Tabela 4: Características físico-químicas do solo para meio filtrante .....	23
Tabela 5: Profundidade mínima do meio filtrante necessária para tratar específicos poluentes.....	24
Tabela 6: Período de retorno de acordo com ocupação da área..	30
Tabela 7: Coeficientes de escoamento superficial .....	30
Tabela 8: Declividade do fundo.....	43



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

EPA – Environmental Protection Agency

FAWB- Facility for Advancing Water Biofiltration

VSDS- Virginia Stormwater Design Specification





## **LISTA DE SÍMBOLOS**

$\nabla$ - Gradiente hidráulico

$\Phi$  = Porosidade

$\forall$ = Volume



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução e justificativa.....</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos .....	3
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1	Drenagem Urbana Sustentável .....	5
<b>2.1.1</b>	<b>Técnicas compensatórias em drenagem urbana.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Estudos de concepção de técnicas compensatórias.....</b>	<b>6</b>
2.2	Biofiltros .....	9
<b>2.2.1</b>	<b>Conceito e estruturação .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Critério de integração no ambiente .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Elementos de Projeto .....</b>	<b>13</b>
2.2.3.1	Características da área drenante e localização da estrutura... 16	
2.2.3.2	Área de superfície do biofiltro .....	16
2.2.3.3	Zona de entrada.....	17
2.2.3.4	Cobertura Vegetal .....	18
2.2.3.5	Meio filtrante.....	21
2.2.3.6	Zona de drenagem.....	24
2.2.3.7	Biofiltros em áreas costeiras: .....	25
2.3	Metodologia para Dimensionamento de Biofiltros .....	26
<b>2.3.1</b>	<b>Cálculo do volume da estrutura.....</b>	<b>26</b>
2.3.1.1	Método do LID Hydrologic Analysis.....	27
2.3.1.2	Método da curva envelope (rain envelope method) .....	28
2.3.1.2.1	<i>Volume de entrada .....</i>	<i>29</i>
2.3.1.2.2	<i>Volume de saída .....</i>	<i>31</i>
2.3.1.2.3	<i>Calculo do volume do biofiltro .....</i>	<i>32</i>
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos.....</b>	<b>34</b>
3.1	Seleção da Área de estudo.....	35

3.2	Caracterização da área contribuinte e local de implantação..	37
3.3	Seleção do biofiltro .....	38
3.4	Dimensionamento e Seleção dos elementos do biofiltro.....	38
<b>3.4.1</b>	<b>Área superficial .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Vegetação .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Meio filtrante.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Camada de drenagem .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Volume da estrutura .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.6</b>	<b>Zona de entrada do biofiltro .....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>44</b>
4.1	Opção 1 .....	44
<b>4.1.1</b>	<b>Área de contribuição e localização da estrutura .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Elementos de projeto e dimensionamento da estrutura...</b>	<b>46</b>
4.1.2.1	Zona de entrada.....	48
4.1.2.2	Layout .....	49
4.2	Opção 2 .....	50
<b>4.2.1</b>	<b>Área de contribuição e localização da estrutura .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Elementos de projeto e dimensionamento da estrutura...</b>	<b>52</b>
4.2.2.1	Zona de entrada.....	54
4.2.2.2	Layout (autocad) .....	54
4.3	Comparação entre as opções ...	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.4	Vegetação.....	56
4.5	Dificuldades .....	58
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>
	<b>Apêndice A- Planilha de cálculo para o método da curva evelope (Opção 1 ajustada).....</b>	<b>70</b>
	<b>Apêndice B- Cálculo do canal de entrada pela Fórmula de Manning (Opção 1 ajustada).....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento das cidades aliado à utilização de sistemas tradicionais de drenagem têm gerado impactos na hidrologia e na qualidade das águas urbanas. Especialmente em regiões costeiras, estes impactos podem ser agravados se considerados os cenários futuros de mudanças climáticas. Sendo assim urge-se por intervenções capazes de gerenciar as águas pluviais de maneira sustentável nestas regiões. Enquanto em áreas com vegetação ou não urbanizadas as águas pluviais raramente são um problema, pois seguem o ciclo hidrológico natural de precipitação, infiltração, evaporação e escoamento superficial, nas áreas urbanas este ciclo é perturbado pela redução de superfícies permeáveis resultando no aumento do volume escoado e redução da infiltração (DUCHENE, 1994). Em adição, em sistemas de drenagem tradicionais, seguindo o modelo higienista em que as águas pluviais deveriam ser rapidamente drenadas para evitar a proliferação de doenças na população, o volume escoado é rapidamente coletado e sem tratamento lançado aos corpos d'água.

Após anos de utilização do sistema clássico, foi possível constatar que ao remover essa água com tanta rapidez os efeitos que ela causava na cidade a montante foram passados para jusante, e não dissipados (TUCCI, 2003). Ainda, os impactos na qualidade das águas tem se tornado cada vez mais claros. Os poluentes originários da industrialização ou do tráfego, seja dos carros ou pavimentos que são carreados pelo escoamento superficial, se infiltram no solo ou são levados pelos sistemas de drenagem tornando-se fontes de contaminação para águas subterrâneas e superficiais.

Enquanto isso, para zonas costeiras, as projeções futuras de elevação do nível dos mares aumentam a probabilidade de inundações costeiras e problemas com a infraestrutura que drena para corpos d'água influenciados por marés (BURRELL et al. 2007). Já são recorrentes nos noticiários inundações em cidades litorâneas ocasionadas pelo aumento da maré que fazem transbordar canais ou galerias de drenagem.

Na década de 70, com o objetivo de recuperar as funções hidrológicas da bacia no período de pré-urbanização e a melhoria da qualidade da água, começou a surgir na Europa e na América do Norte o conceito de “Tecnologias alternativas” ou “Compensatórias” de drenagem. Conceitualmente estas técnicas são denominadas alternativas em relação às soluções clássicas de drenagem e compensatórias no

sentido de compensar os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico) (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUDI, 2005).

As medidas de intervenção em drenagem urbana em geral podem ser divididas em medidas estruturais e não estruturais (institucionais). Esta subdivisão também se aplica às técnicas compensatórias. Neste caso, as medidas estruturais se dividem em técnicas de infiltração e técnicas de retenção, podendo também ocorrer a combinação dos dois modos de funcionamento em uma única estrutura. Associadas a pequenas superfícies de drenagem, em termos de sistematização, podemos optar pelas técnicas para controle na fonte tais como poços de infiltração, as valas e valetas de armazenamento e/ou infiltração, os telhados armazenadores, microrreservatórios e biofiltros (DIAS; ANTUNES, 2010).

Particularmente, para estruturas localizadas em áreas frequentadas por pedestres e tráfego de veículos é esperado que estas não se limitem apenas em serem eficazes no tratamento de contaminantes e na redução do escoamento, mas também façam parte do paisagismo urbano (HUNT et al. 2003). Estudos tem demonstrado que infraestruturas verdes promovem benefícios que vão além de seu papel estrutural. O ambiente saudável gera significantes melhorias na saúde física e psicológica da população residente no entorno (TZOULAS et al. 2007)

Nesse contexto, o uso de dispositivos biofiltrantes, essencialmente compostos por uma camada filtrante coberta por superfície vegetal incluindo árvores, arbustos e gramíneas, tende a ser expandido. O seu eficiente desempenho tanto no aspecto qualitativo quanto quantitativo na gestão de águas pluviais (LIU et al. 2014), aliado ao agradável aspecto paisagístico valoriza o uso desta técnica amplamente utilizada em países como Estados Unidos e Austrália (ROY-POIRIER et al. 2010). As células biofiltrantes são facilmente integradas ou incorporadas dentro de um espaço. Na Austrália, novos empreendimentos residenciais têm utilizado este sistema em lotes privados ou áreas comuns em harmonia com o tema paisagístico, resultando em uma paisagem esteticamente prazerosa e multifuncional (FAWB, 2009). Em áreas comerciais ou industriais os biofiltros podem ser implantados como ilhas verdes em áreas de estacionamento ou jardins de entrada, podendo também ser construídos adjacentes à rodovias (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

No Brasil, embora estudos tenham constatado a eficiência de biofiltros quanto ao amortecimento de volumes de água drenados (DANIEL JÚNIOR, 2013; MELO et al. 2014) bem como sua

viabilidade econômica, (MACEDO, 2015), a utilização destes está direcionada por enquanto apenas ao campo científico e mesmo assim de forma reduzida comparada ao contexto internacional.

Ainda, de acordo com Wang et al. (2017), embora biofiltros estejam sendo usados mundialmente, existem escassos estudos sobre sua aplicação em regiões tropicais e subtropicais o que torna a sua eficiência questionável quando aplicando-se as bases de conhecimento construídas de acordo com modelos aplicados em países de clima temperado. Isso porque existem disparidades sobre as características hidrológicas de cada região bem como da vegetação a ser utilizada e solo constituinte. Nesse panorama Palazzollo et al. (2014) comentam a regrada quantidade de dados sobre a utilização de biofiltros em áreas costeiras, que sofrem pela rasa profundidade do lençol freático e a particular topografia, e necessitam especiais configurações para seu tipo de solo e característica da água subterrânea.

Uma outra lacuna quanto a utilização de biofiltros está relacionada à contribuição e avaliação da sociedade na possibilidade de adoção deste dispositivo. Kong (2016) julga fundamental a integração entre planejadores urbanos e população quando da elaboração de um projeto para que se construa um senso de propriedade pela população que tanto irá se beneficiar quanto irá zelar pela infraestrutura.

A proposta deste trabalho é a de se conceptualizar um biofiltro no Distrito do Campeche-Florianópolis, uma região de grande relevância hidrológica, principalmente pela presença do Aquífero do Campeche. Está previsto para os próximos anos um rápido crescimento urbano na região e a introdução do biofiltro é uma estratégia para tentar compensar estes efeitos. Ainda, estudos mostraram que esta região apresenta áreas suscetíveis a inundação e o uso de técnicas compensatórias reduz a probabilidade destes acontecimento (CAPRARIO, 2017). Este estudo levará em consideração as particularidades da região que incluem características hidrológicas e hidrogeológicas bem como o aspecto social, promovendo um ambiente mais saudável para a população.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Realizar um estudo de concepção de biofiltro em uma zona costeira através de um estudo de caso no Distrito do Campeche-Florianópolis/ Santa Catarina -Brasil



### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar e propor áreas para instalação de um biofiltro no Distrito do Campeche.
- Realizar a caracterização da bacia de contribuição do biofiltro .
- Selecionar os elementos de projeto e dimensionar a estrutura.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Drenagem Urbana Sustentável

#### 2.1.1 Técnicas compensatórias em drenagem urbana

Técnicas compensatórias também conhecidas como *Low Impact Development (LID)*, *Best Management Practices (BMPs)*, *Stormwater Control Measures (SCMs)* bem como *Water Sensitive Urban Design (WSUD)*, descrevem o gerenciamento de águas pluviais com base no planejamento e engenharia que visam por implementar numa pequena escala o controle hidrológico integrado com tratamento de poluentes (LIU et al. 2014).

O objetivo destas técnicas é de buscar restaurar o regime hidrológico para uma condição mais próxima do pré-desenvolvimento. Utilizam-se de conceitos como a melhoria da capacidade de infiltração e evapotranspiração como forma de reduzir o volume de escoamento e assegurar a qualidade da recarga de águas subterrâneas. Isto ocorre de maneira similar aos processos naturais em áreas não urbanizadas, incluindo tratamento físico, químico ou biológico (BURNS et al. 2012), como apresentados na Figura 1. Sendo assim, o resultado esperado será o melhor gerenciamento do escoamento, abastecimento de aquífero, melhoria na qualidade da água e habitat, bem como uma paisagem mais esteticamente atrativa a comunidade.

Figura 1: Tratamento de águas pluviais



Fonte: Adaptação de Mangangka et al. (2016)

Os típicos sistemas alternativos (ou compensatórios) de drenagem urbana incluem trincheiras e valas de infiltração, pavimentos permeáveis, telhado verde, faixas gramadas, wetlands, bacias de retenção e retenção e biofiltros. Felizmente estudos têm demonstrado grandes vantagens dessas tecnologias em comparação ao sistemas convencionais de drenagem, por reduzirem os riscos de inundação (QIN et al. 2013) e promover a atenuação de poluentes (DAVIS et al. 2008) comumente encontrados no escoamento pluvial, como visto na Tabela 1.

Tabela 1: Concentrações médias de contaminantes de acordo com uso da terra.

<b>Parâmetro</b>	<b>Residencial</b>	<b>Comercial</b>	<b>Industrial</b>
TKN (mg/L)	0,23	1,5	1,6
NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (mg/L)	1,8	0,8	0,93
Total P (mg/L)	0,62	2,29	0,42
Copper (mg/L)	56	50	32
Zinc (mg/L)	254	418	1063
Lead (mg/L)	293	203	115
COD (mg/L)	102	84	62
TSS (mg/L)	228	168	108
BOD (mg/L)	13	14	62

Fonte: Adaptado de Whalen e Cullum, 1989 apud EPA , 2017.

No entanto é necessário um estudo aprofundado para a seleção da estrutura mais apropriada para cada contexto urbano.

## **2.1.2 Estudos de concepção de técnicas compensatórias**

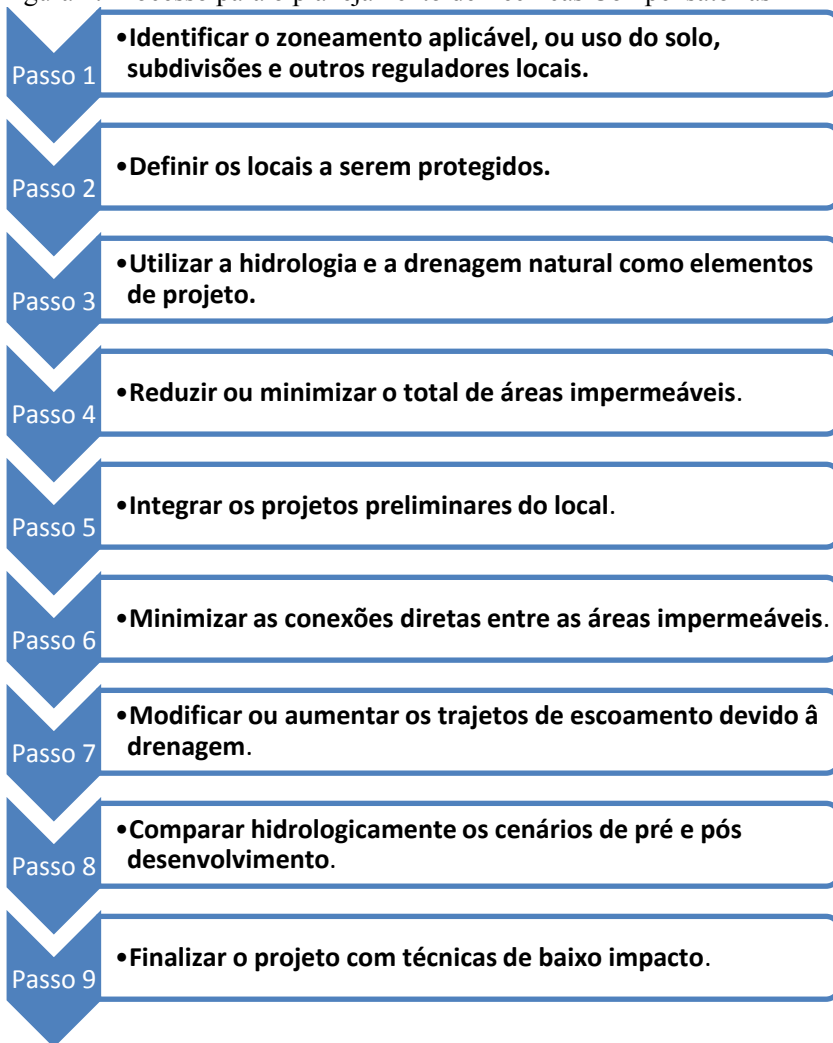
Existem alguns conceitos essenciais envolvidos na implantação de técnicas compensatórias que devem ser tomados em consideração no processo de planejamento para que se obtenha sucesso no projeto . De acordo com Villanueva et al. (2011) os conceitos fundamentais envolvidos na busca pela redução do impacto gerado pela urbanização de resultando na manutenção das características hidrológicas de pré-ocupação e apropriado uso do solo devem incluir:

- Abordagem da bacia hidrográfica como unidade de planejamento utilizando a hidrologia como elemento de integração;

- gestão sustentável agindo de modo preventivo;
- controle e tratamento na fonte, limitando os impactos à jusante;
- integração de métodos simples, estruturais ou não estruturais;
- criação de paisagem multifuncional;
- envolvimento da população.

Prince George's County (1999) sugere simplificadaamente um procedimento de 9 passos no processo de concepção de técnicas sustentáveis de drenagem urbana :

Figura 2: Processo para o planejamento de Técnicas Compensatórias



Fonte: Adaptado de Prince George's Country (1999).

Contudo, Allasia et al. (2011) comentam que restrições locais como altura do lençol freático, altura do leito rochoso, espaço físico e características do solo, por exemplo, podem limitar o uso dessas técnicas, exigindo que sejam utilizadas concomitantemente práticas

compensatórias e higienistas, como detenções e condutos, respectivamente.

É importante ressaltar que a seleção da tecnologia mais apropriada para uma particular bacia é desafiadora. Medidas apropriadas devem ser consideradas para combinar as características da estrutura com os objetivos esperados e as limitações físicas do local. Por exemplo, quanto à escala de aplicação no contexto urbano, WSUD (2006) recomenda bacias de retenção e sedimentação para áreas de médio e grande porte, enquanto valas e trincheiras são indicadas para pequenas e médias áreas de contribuição. Quanto à eficiência, embora estas técnicas possam desempenhar ambas funções de tratamento e controle quantitativo do escoamento, numa maneira geral, biofiltros, bacias de retenção, wetlands e dispositivos de infiltração (valas, trincheiras) são considerados mais eficientes na remoção de poluentes, enquanto pavimentos permeáveis e bacias de retenção são vistos como bons amortecedores de vazões de pico e controle do escoamento.

## **2.2 Biofiltros**

### **2.2.1 Conceito e estruturação**

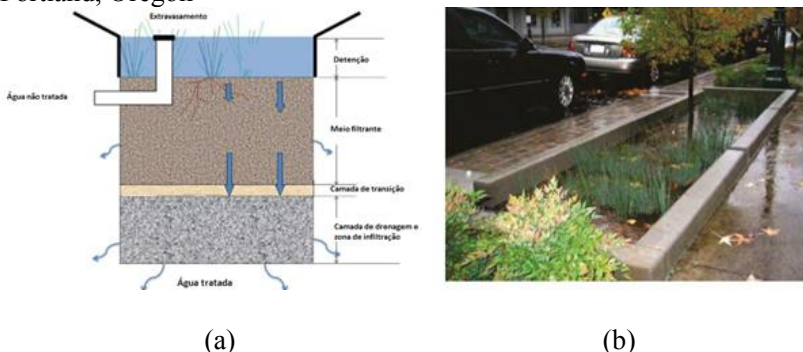
Desenvolvido no começo dos anos 90 pelo Distrito de Prince George's County, EUA, sistemas de biofiltração também conhecidos como jardins de chuva foram desenvolvidos para o tratamento de escoamento superficial advindo das ruas. O conceito desse sistema para o tratamento de águas pluviais foi inspirado pelos sistemas naturais usados para tratar efluentes numa tentativa de maximizar os processos físicos, químicos e biológicos na remoção de poluentes encontrados no solo e complexo de plantas (ROY-POIRIER, 2010).

Os biofiltros tratam as águas pluviais quando estas passam pela camada de solo com superfície vegetal. Ambos solo e vegetação são usados para a remoção ou atenuação de poluentes carregados pelo escoamento. A vegetação, que cobre a superfície do sistema contribui para a infiltração de água mantendo a porosidade do sistema bem como auxilia no processo de filtração. A camada de solo filtrante remove sedimentos e sólidos suspensos quando o escoamento adentra a estrutura. As superfícies dos biofiltros são tipicamente horizontais, portanto, eles não são submetidos a altas velocidades que podem desalojar poluentes coletados ou desordenar a vegetação na superfície (MELBOURNE WATER, 2005).

Geralmente esse sistema é composto por uma superfície vegetal sobre uma camada filtrante, normalmente composta por uma mistura de solo arenoso, seguida por uma camada de transição e camada drenante (Figura 3). A purificação da água é feita fisicamente pela camada de solo filtrante, quimicamente por adsorção e biologicamente pelo efeito das plantas plantadas e comunidade microbológica (FAWB, 2009).

Primeiramente, a água do escoamento irá passar pelas plantas no sistema em um fluxo horizontal e as plantas irão interceptar as partículas suspensas. Então, verticalmente a água será percolada na camada de solo filtrante e subsequentemente na camada de transição, que tem por função evitar a migração do meio filtrante para a camada de drenagem (ZHANG et al., 2013). Nesta última camada o projetista pode optar pela utilização de tubos perfurados que conduzirão a água para os sistemas de drenagem convencionais ou reservatórios ou escolher que a água infiltre diretamente no solo abaixo da estrutura. (BLECKEN, 2010).

Figura 3: (a) Biofiltro de infiltração; (b) Célula de biofiltração em Portland, Oregon



Fonte: Adaptado de FAWB (2009); (b) Moura (2013)

O desenvolvimento e adoção dos biofiltros tem sido motivados por uma série de vantagens em relação aos projetos tradicionais de drenagem urbana (MUTHANNA et al. 2008 apud MELO, 2011, p.34).

- Redução do volume de escoamento e taxa de pico dos hidrogramas de maneira sustentável devido à retenção e armazenamento do volume escoado na superfície do sistema;
- Recarga das águas subterrâneas e reestabelecimento do fluxo de base devido ao processo de infiltração e redistribuição;
- Amenizar os efeitos erosivos ocasionados pelo escoamento superficial;
- Intensificar os processos do ciclo hidrológico, principalmente a infiltração e evapotranspiração;
- Melhorar a qualidade das águas- pela retenção de contaminantes carreados pelas águas pluviais;
- Menor custo de implantação e manutenção – por não utilizar tubulações tradicionais, mas sim adotar materiais alternativos e menos onerosos para composição do sistema, como brita e areia;
- Maior aceitabilidade pela população – pelos benefícios estéticos, paisagísticos e ambientais.

De acordo com Want et al (2016), embora biofiltros ocupem uma pequena área urbana eles são capazes de reduzir substancialmente os efeitos nas condições hidrológicas provocados pela impermeabilidade bem como na remoção de poluentes.

Em um estudo usando-se análise probabilística para aproximar-se a eficiência do biofiltro em capturar água da chuva por um tempo extenso, Hunt et al. (2008) identificaram uma significativa redução da maioria dos poluentes que chegaram no sistemas incluindo nitrogênio total, amônia, DBO, sólidos suspensos totais, cobre, zinco, chumbo, coliformes fecais e *Escherichia coli*.

Quantitativamente, DeBusk e Wynn (2011) constataram uma redução de 97% do volume escoado e 99% do volume de pico na instalação de um biofiltro recebendo água de uma área de estacionamento. Efetiva redução do volume de pico de aproximadamente 99% foi também mostrada no estudo de Hunt et al. (2008) para pequenos e médios eventos de precipitação.

No Brasil, o trabalho de Daniel Jr (2013) avaliou a capacidade de um biofiltro no controle qualitativo do efluente, bem como o tratamento do *first flush* oriundo de um telhado. Como resultado, foi observado que a estrutura amorteceu todos os eventos ocorridos no período monitorado. No entanto as análises de qualidade do escoamento indicaram que a camada superior não teve capacidade suficiente para



tratar o efluente nos padrões desejados. Ainda foi observado um decréscimo na taxa de infiltração indicando colmatção da estrutura que reduz seu tempo de vida útil.

Moura (2013) avaliou o desempenho de dois canteiros isolados entre si e compostos pelo mesmo tipo de meio filtrante, no entanto com diferentes vegetações sobre a camada orgânica, para a mitigação da poluição difusa ocasionada pelas águas da chuva. Ambos canteiros foram alimentados pelo escoamento de uma sarjeta. Os resultados mostraram reduções de 89,94 % das cargas médias poluidoras no biofiltro coberto por gramado com uma espécie única de graminea e de 95,94% para o jardim composto de forrações, herbáceas e arbustos diversos, predominante nativos.

### **2.2.2 Critério de integração no ambiente**

Na tentativa de integrar a estrutura dentro de um ambiente, o projetista deve estar consciente de possíveis impactos em outras estruturas. De acordo com Prince George's County (2009), os seguintes critérios devem ser incorporados dentro do planejamento técnico e projeto do biofiltro:

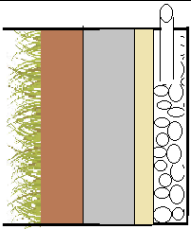
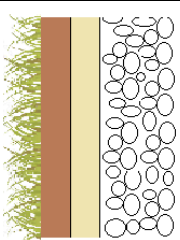
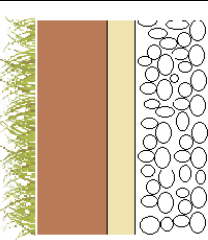
- Deve-se manter uma distância mínima de 300 m de nascentes.
- Evitar proximidade com estruturas de tratamento de esgoto, mantendo pelo menos 150 m de distância quando existir.
- Manter uma distância de 7,5 m da fundação da casa.
- A estrutura deve estar localizada abaixo do nível da casa ou prédio.
- A área do biofiltro deve estar a pelo menos 0,6 m de distância do limite da propriedade.
- Para caso de excesso de volume, a água deve ser direcionada para um ponto de descarga (galeria pluvial, canal ou vala).
- O solo deve ter uma capacidade de infiltração que permita que o escoamento na superfície da estrutura infiltre dentro de 48h após um evento de precipitação, sendo aconselhável um valor mínimo de 12mm/h.
- A drenagem do biofiltro não deve cruzar outros lotes.
- Distância de 0,6m do nível mais alto da água subterrânea.

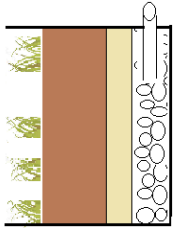






Nas normas brasileiras não foram encontradas diretrizes específicas para a construção de biofiltros.

### **2.2.3 Elementos de Projeto**

Como já mencionado anteriormente, embora sistemas de biofiltração sejam capazes de desempenhar variadas funções no gerenciamento de águas pluviais, os guias para instalação e dimensionamento para estruturas recomendam que seja atribuído primeiramente um objetivo principal ao sistema. Dessa forma haverá variações estruturais e na composição dos elementos que formam o sistema. Algumas sugestões para configurações de biofiltros são apresentadas no Quadro 1. A partir de então, assim como para a instalação de outras estruturas de drenagem, o processo de concepção do biofiltro requer inicialmente o estudo das características da bacia contribuinte incluindo aspectos hidrológicos e uso da terra. Depois disso inicia-se o processo de cálculos e seleção dos elementos de projeto tais como área superficial da estrutura, composição do meio filtrante, vegetação, zona de entrada, altura de represamento e drenagem (FAWB, 2009; Prince George's County 2009).

Quadro 1 : Elementos de projeto para estudo de biofiltros

Referência	Objetivos	Atributos	Design
FAWB (2009)	Tratamento de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altura da camada filtrante suficiente para atingir o tratamento ótimo (recomenda-se o meio com baixa concentração de P e apropriada quantidade de matéria orgânica;</li> <li>Recomenda-se o uso de uma zona submersa para uma melhor remoção de N;</li> <li>Deve ser vegetado com espécies eficientes na remoção de N;</li> <li>Considerar um adequado volume de detenção (represamento), sobre as camadas filtrantes para evitar o extravasamento da água não tratada</li> <li>Isolado para garantir permanência de água no sistema</li> </ul>	
PRINCE GEORGE'S COUNTY (2009)	Redução do Escoamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Não deve ser isolado para que possibilite a máxima exfiltração;</li> <li>Densamente vegetado para maximizar perdas por evapotranspiração;</li> <li>Máximo volume de armazenamento para amortecimento do escoamento</li> </ul>	
PRINCE GEORGE'S COUNTY (2009)	Recarga de aquífero	<ul style="list-style-type: none"> <li>Máximo volume de detenção para evitar extravasamento</li> <li>Área de filtragem suficiente para tratamento de contaminantes e evitar a contaminação do aquífero</li> <li>Não isolado para permitir exfiltração</li> <li>Máximo volume de armazenamento</li> </ul>	

Referência	Objetivos	Atributos	Design
MINNESOTA STORMWATER MANUAL (2017)	Água para reúso	<ul style="list-style-type: none"><li>• O sistema deve ser isolado para minimizar as perdas por exfiltração;</li><li>• Vegetação reduzida em ordem de reduzir evapotranspiração;</li><li>• A proporção de água tratada pode ser maximizada pelo aumento do volume de detenção e área de filtragem</li></ul>	
<b>Legenda:</b>  Vegetação  Meio filtrante  Camada de transição  Zona de drenagem  Zona submersa  Isolamento			

### 2.2.3.1 Características da área drenante e localização da estrutura

Os biofiltros funcionam melhor para menores áreas de drenagem, por ser mais fácil a distribuição de fluxo sobre o leito filtrante. O tamanho típico da área de drenagem pode variar de 400 a 10.000 m<sup>2</sup>, podendo ser inteiramente impermeável. Geralmente a área de drenagem máxima para um único biofiltro é de 20.000 m<sup>2</sup>, com uma cobertura máxima impermeável de 10.000 m<sup>2</sup> (50% de cobertura impermeável) devido à limitações na capacidade de biofiltração para gerenciar de maneira eficaz a vazão de pico e volume do escoamento (Prince George's County, 2009). No entanto, se as considerações hidráulicas forem adequadamente estabelecidas para gerenciar o pico do fluxo de entrada de uma área de drenagem maior, o projeto pode ser autorizado pela autoridade competente (VSDS, 2011).

Para o estudo de concepção da estrutura, são recomendados os aspectos relacionados aos índices pluviométricos, estudo do solo e topografia a fim de se conhecer o comportamento dos eventos, as condições hidráulicas do solo incluindo taxa de infiltração e perdas por evapotranspiração e o caminho das águas no meio urbano (WINSTON et al. 2010). O conhecimento ou a estimativa de possíveis contaminantes são também necessários para o estudo de construção do biofiltro.

O biofiltro é melhor aplicado quando o grau de declividade da área contribuinte não ultrapassa 5%, sendo assim, seu uso para áreas de encostas é limitado (FAWB, 2009). Quanto ao lençol freático, a estrutura deve ser sempre minimamente afastada para assegurar que a água subterrânea não tenha ligação com a camada filtrante, afim de se evitar a possibilidade de contaminação do lençol freático bem como a falha do sistema de biofiltração. A distância recomendada varia entre 0,60m (VSDS, 2011) e 1m (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUDI, 2005) entre o fundo da estrutura e o nível mais alto do lençol freático considerando a sazonalidade (VSDS, 2011). Ainda, para estruturas que permitam a infiltração no solo nativo, é recomendada uma taxa de infiltração mínima de 12,5 mm/h (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2009)

### 2.2.3.2 Área de superfície do biofiltro

De acordo com as primeiras diretrizes para a construção de biofiltros estabelecidas por Prince George's County (1993), um biofiltro com área superficial equivalente a 5% da parte impermeável da área

drenante é capaz de permitir que os primeiros 1,27 cm do escoamento infiltre no solo, condição requerida para o bom desempenho do sistema no tratamento de contaminantes. Atualmente, alguns novos modelos tem sugerido que a área superficial suficiente seja 2% da área impermeável da região contribuinte (VSDS, 2011; FAWB, 2009). Segundo Coffman (1993), uma largura mínima de 4,5m e comprimento de 12,2m contribui para criar um adequado microclima para a vegetação.

A altura de represamento também deve ser calculada como forma de limitar a duração do tempo em que as plantas estarão submersas, evitar a proliferação de mosquitos e garantir o tempo adequado de tratamento no sistema (FAWB, 2009). De acordo com Minnesota Stormwater Manual (2017) o tempo de represamento varia entre 24 e 48 horas e a altura é baseada na capacidade de infiltração do solo nativo. A tabela 1 ilustra as profundidades da camada superficial de acordo com o solo e tempo de represamento.

Tabela 2: Altura máxima da camada de represamento relativa à taxa de infiltração e tempo.

Taxa de infiltração do solo nativo (mm/h)	Profundidade para represamento de até 24h (mm)	Profundidade para represamento de até 48h (mm)
20-40	230	460
12	230	460
8	185	370
5	120	240

Fonte: Adaptado de Minnesota Stormwater Manual (2017)

### 2.2.3.3 Zona de entrada

A zona de entrada do biofiltro, na qual é recebido o escoamento, é de fundamental importância para o bom funcionamento do dispositivo. Três principais considerações devem ser abordadas para que ocorra i) controle de velocidade para prevenir erosão; ii) igual e uniforme distribuição do escoamento através da superfície e iii) seguro extravasamento (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2009). De acordo com Minnesota Stormwater Manual (2017) a velocidade do escoamento na entrada do biofiltro deve ser inferior a 1,2 m/s.

Como visto na Figura 4, a colocação de pedras na entrada do dispositivo ou o uso de densa vegetação são algumas das opções válidas para estabelecer as condições discutidas anteriormente.

Figura 4: Utilização de pedras (esquerda) e vegetação densa (direita) na zona de entrada do biofiltro.

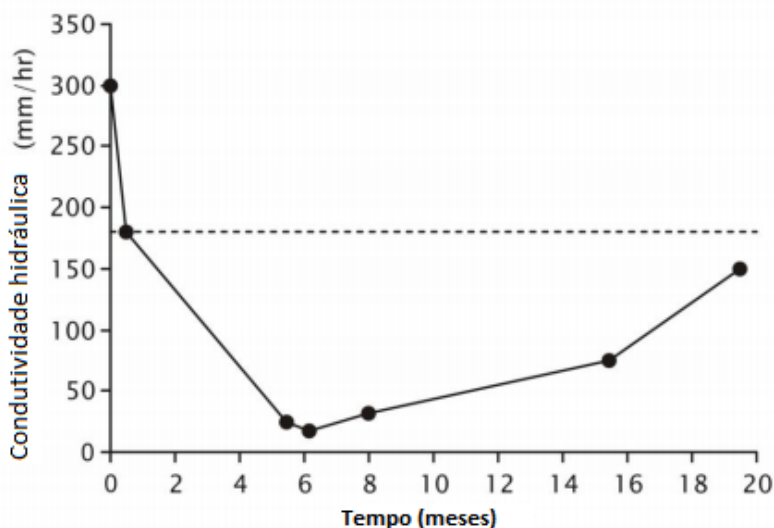


Fonte: FAWB (2009).

#### 2.2.3.4 Cobertura Vegetal

São inúmeros os benefícios da vegetação no sistema de biofiltração, porém a quantificação ainda é pouco estudada. De uma maneira geral as plantas são essenciais para facilitar a remoção efetiva de poluentes nos sistemas de biofiltração. A vegetação também mantém a estrutura do solo da zona radicular porque cria macroporos, que mantêm a capacidade de infiltração a longo prazo dos sistemas de biofiltração. A Figura 5 a seguir ilustra a mudança na condutividade hidráulica durante a fase de estabelecimento de uma célula de bioretenção em Melbourne. A condutividade hidráulica inicialmente reduz por causa da compactação devida às cargas hidráulicas, mas então se recupera para bem próximo do valor projetado, como consequência do crescimento das plantas e o aumento da profundidade das raízes (FAWB, 2008). Ainda pode ser acrescentada a sua função no desvio ou retardo dos fluxos de escoamento além de promover uma agradável aparência estética (DAVIS et al. 2009).

Figura 5: Evolução da condutividade hidráulica durante os primeiros 20 meses de um sistema de biorretenção.



Fonte: FAWB (2008).

Parâmetros como forma de crescimento, demanda por água, densidade, variedade de espécies e uso de cobertura orgânica são relevantes na escolha das plantas que irão compor o biofiltro. Plantas com longas raízes que penetram toda a camada filtrante e que possuem densa e linear folhagem são preferidas por promoverem uma melhor distribuição do fluxo e evitarem a erosão do solo. Uma alta densidade de plantas além de contribuir para a manutenção da capacidade de infiltração também colabora para o aumento das perdas por evapotranspiração consequentemente reduzindo o volume de água (HUNT et al. 2015). Sun e Davis (2007) apud Moura (2013) menciona dois tipos de vegetação muito usadas na fitorremediação. As plantas hiperacumuladoras, como por exemplo gramíneas, são capazes de aglomerar elementos com alta toxicidade principalmente metais pesados como Cd, Cr, Cu, Pb e Zn, mesmo que sem apresentar grande biomassa. Já as espécies não-acumuladoras, metabolizam ou volatizam contaminantes podendo também estabilizar as substâncias tóxicas no solo.

O uso de espécies nativas da região é um agente facilitador para o bom desenvolvimento das plantas no sistema, no entanto,



recomenda-se, sempre que possível, que pelo menos 50% da vegetação seja composta de plantas que se mostram eficazes na remoção de nutrientes (TURK et al. 2017) .

No Brasil as plantas utilizadas nos sistemas de biofiltração e jardins de chuva descritas na bibliografia pesquisada são apresentadas no Quadro 2: Tipos de vegetações usadas em biofiltros no Brasil

Quadro 2: Tipos de vegetações usadas em biofiltros no Brasil.

Referência	Local	Vegetação
Moura (2013)	São Paulo/ SP	Célula 1: grama esmeralda ( <i>Zoysia japonica</i> ) Célula 2: variedade de espécies entre arbustos e herbáceas nativos e exóticos adaptados.
Daniel Jr (2013)	Santa Maria/ RS	Taioba ( <i>Xanthosoma sagittifolium</i> ), Bananeira ( <i>Musa velutina</i> ) e espécies do gênero <i>Canna</i> .
Melo (2013)	Recife/ PE	<i>Ixora-vermelha</i> ( <i>Ixora chinensis</i> ) e <i>Iris amarela</i> ( <i>Iris pseudacorus</i> ) .
Menezes (2015) apud Braga (2017)	Maceió/ AL	Imbé ( <i>Philodendron sagittifolium</i> )

A seleção de plantas deve também considerar as diferentes zonas do biofiltro no sentido longitudinal. Áreas próximas a zona de recebimento do escoamento devem ser ocupadas por plantas que resistam aos impactos hidrológicos gerados pela frequente inundação e altas velocidades de escoamento. No sentido contrário, plantas localizadas distantes da zona de entrada podem, durante pequenos eventos de precipitação, não receber qualquer fluxo e sendo assim devem ser mais resistentes à períodos de seca do que aquelas localizadas na entrada (FAWB, 2009).

É recomendado por FAWB (2009) que as espécies dominantes sejam plantadas extensivamente numa densidade de 8 a 12 plantas/m<sup>2</sup> enquanto arbustos e árvores sejam plantados a uma densidade menor que 1 planta/m<sup>2</sup>.

Para dispositivos nos quais o meio filtrante é composto basicamente por areia e/ou brita com pouca ou nenhuma presença de matéria orgânica, faz-se necessário a inclusão de substrato, que dará condições para crescimento das plantas (DANIEL JR, 2013).

O uso de *mulch*, uma cobertura vegetal seca, é recomendado para evitar o crescimento de ervas daninhas, proteger o solo da erosão, promover o amortecimento do solo contra a compactação durante a plantação e naturalmente remover metais das águas pluviais (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2001). Segundo VSDS (2011), restos picados de madeira dura são uma excelente opção por reterem nitrogênio e não flutuarem.

#### 2.2.3.5 Meio filtrante

O papel do meio filtrante é tanto a remoção dos poluentes que entram no sistema, através de processos físicos e químicos, bem como o suporte às plantas e à comunidade microbiológica, responsáveis pelo tratamento biológico. O meio filtrante deve ser também capaz de reduzir as vazões de pico e os volumes de saída, detendo e retendo o escoamento (FAWB, 2009). Parâmetros como quantidade de matéria orgânica, granulometria, nutrientes e outras características físico-químicas devem ser abordados para preparação do meio.

De acordo com Zhang et al. (2013) a condutividade hidráulica da camada filtrante varia de acordo com o clima da região e deve estar situada entre 100 e 400mm/hr, pois se este valor é muito pequeno poderá haver risco de extravasamento enquanto que uma condutividade hidráulica muito alta não reterá a água tempo suficiente para que seja tratada com eficiência, além de comprometer a sobrevivência das plantas (Figura 6).

Figura 6: Condutividade hidráulica recomendada e potenciais riscos.



Fonte: FAWB (2008)

Geralmente, o meio filtrante é composto em sua grande maioria por areia e por uma limitada presença de argila e silte, como observado na Tabela 3.

Tabela 3: Distribuição das partículas no meio filtrante

Partícula	%	Diâmetro
Argila e silte	<3%	<0,05 mm
Areia super fina	5-30%	0,05-0,15 mm
Areia fina	10-30%	0,15-0,25 mm
Areia media para grossa	40-60%	0,25-1,0 mm
Areia grossa	7-10%	1,0-2,0 mm
Casacalho fino	<3%	2,0-3,4 mm

Fonte : Adaptado de Burge et al. (2007)

No entanto, as proporções adotadas para a mistura que compõe o meio filtrante podem variar. Davis et al. (2009) obteve resultados significativos tanto para controle do escoamento quanto para remoção de poluentes utilizando uma mistura de 20% de matéria orgânica (folhas secas), 30 % do solo superficial e 50% de areia. Uma mistura semelhante foi citada por Minnessota Stormwater Manual (2017) como uma das melhores e mais acessíveis opções para remoção de metais e fósforo atuando também na promoção de um ambiente saudável para o crescimento das plantas. O mesmo manual faz um alerta para as características do solo superficial que deve ser composto por menos que 5% de argila. No entanto FAWB (2008) ressalta a importância de pelo menos 3% de particulado fino (argila e/ou silte) devida a sua importância na adsorção de poluentes dissolvidos.

Prince George's County (2007) e Minnessota Stormwater Manual citam duas misturas que não incluem o uso do solo superficial. De

acordo com o primeiro na Carolina do Norte (EUA) a proporção adotada é de 85-88% de areia, 8-12% de uma mistura de silte e argila e 3-5% de matéria orgânica. O segundo sugere 70-85% de areia de construção e 15-30% de matéria orgânica. Ainda, ambos autores sugerem que para evitar o excesso de nutrientes e risco de patógenos, a matéria orgânica seja rica em húmus, geralmente originada da decomposição de folhas e outros restos vegetais.

Ainda, existem alguns requerimentos quanto à composição de nutrientes e características químicas do solo para que se alcance os padrões de tratamento esperado, como recomendado na Tabela 4.

Tabela 4: Características físico-químicas do solo para meio filtrante

<b>Parâmetro</b>	<b>Concentração</b>
Nitrogênio total	<1000 mg/kg
Fosforo	<100 mg/kg
PH	5,5 - 7,5
Condutividade	<1,2 dS/m

Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2013)

No Brasil os estudos referenciados na bibliografia não usaram mistura de solos. No trabalho de Daniel Jr (2013) o meio filtrante foi composto, de baixo para cima, por uma camada de pneus rodeados por tijolos fragmentados e materiais cerâmicos quebrados com diferentes tamanhos seguida por 10 cm de brita nº 2, 10 cm de brita nº 1 e finalmente uma camada de 10 cm de areia.

Em seu projeto, Melo (2013) forrou a estrutura com 10 cm de areia seguida por 70 cm de brita tipo 19 e uma camada geotêxtil para retenção de finos e filtração primária das águas.

A respeito da profundidade ideal da camada, alguns estudos apontam uma altura variando entre 300 e 800mm sendo mais comumente uma estrutura entre 400 e 600 mm (ZHANG et al. 2013), enquanto outras indicam que essa camada esteja entre 700 e 1200 mm de profundidade (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2001).

Para Hunt et al. (2012) e Hathaway et al. (2011) existem alturas mínimas necessárias do meio filtrante para o tratamento dos poluentes. A Tabela 5 a seguir apresenta as alturas recomendadas para a eficiência do tratamento de 5 poluentes.

Tabela 5: Profundidade mínima do meio filtrante necessária para tratar específicos poluentes.

<b>Poluente</b>	<b>Profundidade mínima (mm)</b>
Sólidos suspensos totais (TSS)	50-75
Metais	200
Hidrocarbonetos	75-100
Nitrogênio	900
Fósforo dissolvido	900
Patógenos	600

Fonte : Minnessota Stormwater Mannual, 2017

### 2.2.3.6 Zona de drenagem

Esta é a última etapa do tratamento. A destinação do volume coletado do meio filtrante depende do objetivo do biofiltro que poderá armazenar a água em um reservatório para posterior reúso, permitir a infiltração direta no solo ou lançar nos sistemas tradicionais de drenagem. Segundo Canholi (2005) , o material granular atua reservando temporariamente o escoamento enquanto a percolação se processa lentamente para o subsolo”.

Esta zona deve ser composta por um material que tenha uma condutividade hidráulica maior do que o meio filtrante (PRINCE GEORGE’S COUNTY, 2001). FAWB (2009) recomenda que esta camada seja composta por cascalho lavado (limpo) e fino (2-5mm), resultando numa porosidade de 40%.

Quanto à colocação ou não dos tubos de coleta existem 3 configurações principais:

- **Sem tubo drenante:** para biofiltros com o objetivo principal de infiltração, este tipo de design é aconselhável para áreas e uso da terra que geram cargas de nutrientes (residências e comércio) e onde o solo nativo possui uma taxa de infiltração mínima de 12,5 mm/h, indicando a não necessidade de tubo coletor (PRINCE GEORGE’S COUNTY, 2001).
- **Com tubo drenante no fundo:** indicado para áreas e uso da terra que geram cargas de metais e nutrientes e em que o solo nativo apresenta baixa capacidade de infiltração , a presença de tubo coletor ao fundo garante

uma alta taxa de filtragem e reduz o risco de contaminação do solo nativo. (MINNESOTA STORMWATER MANUAL, 2017)

•**Com tubo drenante elevado:** indicado para áreas com altas cargas de nutrientes (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2001) essa configuração aumenta o tempo de retenção hidráulica permitindo uma maior taxa de infiltração e evaporação comparado ao sistema de tubo de coleta no fundo. Ainda, um tempo de retenção maior permite que o processo de desnitrificação ocorra sob condição anóxica.

Quando na opção de colocação do tubo de coleta, a profundidade da camada de drenagem será determinada pelo diâmetro do tubo de PVC, a inclinação e o comprimento do sistema. Tipicamente a mínima altura de cobrimento do cano com brita é de 50 mm ( para evitar a migração da areia da camada de transição dentro das perfurações). Por exemplo para um biofiltro com um tubo de 100 mm de diâmetro e 10 metros de comprimento numa declividade de 1%, a altura da camada de drenagem seria de 150 mm no início e 300mm no final (FAWB, 2009). No entanto, para biofiltros sem a presença de tubos de drenagem, o volume desta última camada deve ser pelo menos igual ao da zona de represamento, preferencialmente maior, para assegurar que o meio filtrante não se torne saturado depois de consequentes eventos de precipitação.

O uso de manta geotêxtil entre o meio filtrante e a camada de drenagem era comumente empregado como forma de prevenir a migração do meio filtrante para a camada de drenagem. No entanto, estudos demonstraram que seu uso acelera o processo de colmatção da estrutura, não sendo mais recomendado em muitos guias de instalação de biofiltros (FAWB, 2009; VSDS, 2011). Como uma nova alternativa em substituição ao uso de geotêxtil, tem sido sugerido a inclusão de uma fina camada de transição (10 cm), também conhecida como “enforcador”, normalmente composta unicamente por areia grossa (FAWB, 2009), ou dividida entre areia grossa na parte superior e cascalho fino na parte inferior (DORSEY; MATHEUS, 2014).

#### 2.2.3.7 Biofiltros em áreas costeiras:

As características hidrogeológicas e geomorfológicas das zonas costeiras como; o terreno plano, a baixa carga hidráulica e o lençol freático elevado podem restringir a aplicação de áreas de bioretenção

mais profundas. Sendo assim, VSDS (2011) cita algumas alternativas para contornar essas as particularidades de tais áreas.

- Uma abordagem linear à bioretenção, utilizando múltiplas células contribui para que o escoamento seja tratado sem que haja necessidade de profundidades altas.

- A altura mínima do meio filtrante pode ser de 450 a 600mm. Uma altura de represamento de 150 a 250 mm é suficiente para evitar a necessidade de profundidade adicional. Uma profundidade mais rasa pode não ser vantajosa quanto ao tratamento de contaminantes.

- A profundidade mínima para o lençol freático considerando sazonalidade pode ser de até 300mm, desde que seja instalado um tubo grande na zona de drenagem (por exemplo 150 mm) para que ocorra infiltração parcial sem que desidrate o meio filtrante.

- Se usado tubo de drenagem, é importante manter pelo menos uma inclinação de 0,5% na drenagem inferior para assegurar uma drenagem positiva.

- A mistura de espécies de plantas selecionadas deve refletir comunidades de planície costeira e deve ser mais tolerante à umidade e ao sal do que aqueles usados em aplicações típicas de áreas não litorâneas.

## **2.3 Metodologia para Dimensionamento de Biofiltros**

### **2.3.1 Cálculo do volume da estrutura**

O correto dimensionamento de células de biofiltração é fundamental para garantir a boa performance do dispositivo tanto no controle hidrológico quanto na remoção de poluentes. Erros nas etapas de construção e design das células podem resultar em insuficientes volumes de armazenamento para o evento de precipitação projetado, resultando em extravasamento da estrutura (BROWN E HUNT, 2009). Por um outro lado o super dimensionamento da estrutura pode elevar os custos do projeto (CADORE, 2016).

O guia técnico para instalação de técnicas compensatórias desenvolvido por BCC e MBWCP (2006), em Queensland, Australia, sugere que para determinação de vazões de pico o Método Racional como sendo o mais apropriado para o cálculo, visto que geralmente áreas drenantes para biofiltros são pequenas. Este mesmo método é também usado em países que seguem o guia para dimensionamento proposto por Prince George's County, em 1993.

Para o dimensionamento do volume da estrutura, dentre os diversos métodos para dimensionamento de biofiltros os mais mencionados na literatura pesquisada foram o método da Curva-Envelope (GUTIERREZ, 2011; SOUSA 2002; CADORE, 2016) e do Low-Impact Development Hydrologic Analysis (EPA, 2000; PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2002; MINNESOTA STORMWATER MANUAL, 2017; VSDS, 2011).

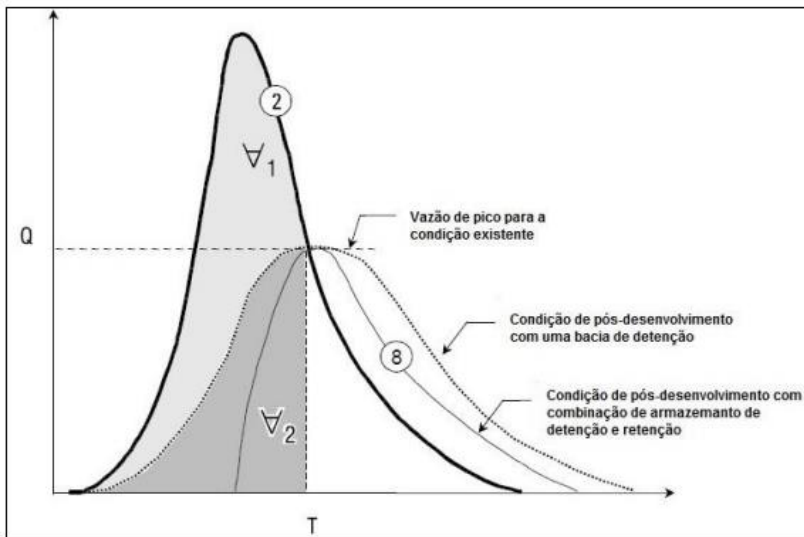
#### 2.3.1.1 Método do LID Hydrologic Analysis

O método LID Hydrologic Analysis, contido no documento Low-Impact Development Hydrologic Analysis (EPA, 2000), baseia-se no modelo hidrológico TR-55 do Soil Conservation Service (SCS) e é amplamente utilizado nos EUA, estando presente nos guias de dimensionamento para biofiltros de muitos países. Para determinação do volume, esse método estuda as condições existentes do local e as condições de pré e pós-desenvolvimento, de modo que a estrutura deva capturar o volume para que a vazão de pós-urbanização seja igual ou até mesmo menor que a vazão máxima atual (CHENG et al. 2001).

A Figura 7 ilustra graficamente o funcionamento da metodologia, a linha 2 representa a vazão de pós-urbanização sem qualquer intervenção de estruturas, enquanto a linha pontilhada representa a máxima vazão atual ou permitida pela legislação. Os volumes  $V_1$  e  $V_2$  indicam respectivamente o volume que seria armazenado se fosse utilizado apenas um reservatório para o amortecimento das vazões e o volume necessário para armazenamento considerando infiltração e evapotranspiração, sendo assim considerado a soma dos dois para o dimensionamento de um biofiltro (CADORE, 2016).



Figura 7: Volume de armazenamento necessário para manter a vazão de pico atual.



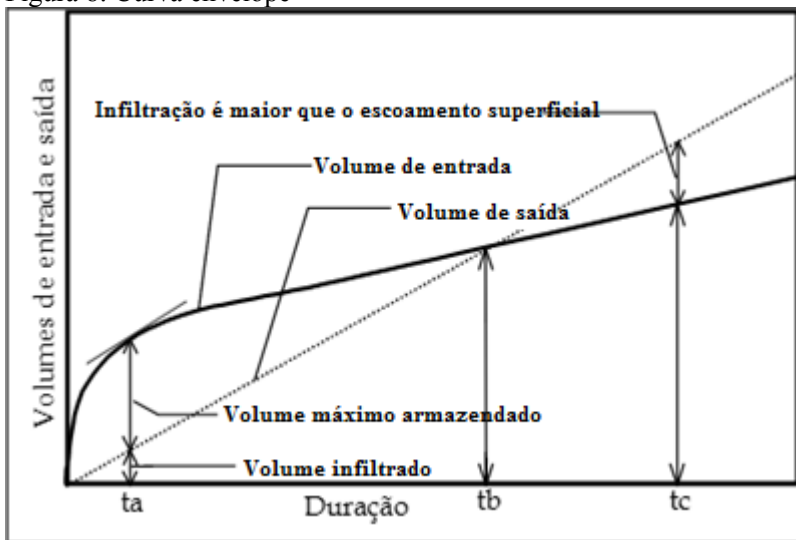
Fonte: EPA (2000) apud Cadore (2016)

### 2.3.1.2 Método da curva envelope (rain envelope method)

De simples aplicação esse método é recomendado para o dimensionamento de dispositivos de infiltração utilizando dados de caracterização do local de implantação e da curva de intensidade-frequência (IDF) do local. De uma maneira geral esse método se baseia no balanço hídrico no interior da estrutura determinando-se os volumes acumulados de entrada e saída da estrutura a ser dimensionada. Sendo assim o cálculo do volume da estrutura deve ser suficiente para o armazenamento da máxima diferença entre esses volumes (considerando-se a porosidade do material utilizado no preenchimento) (URBONAS e STAHRÉ apud SOUZA, 2002).

Na Figura 8 podem ser observadas duas situações distintas nas quais para eventos menores não há infiltração total do escoamento superficial enquanto que em durações maiores a capacidade de infiltração é superior ao volume afluente e então a água armazenada infiltra no solo.

Figura 8: Curva envelope



Fonte: Adaptado de Ubonnas e Stahre (1993) apud Daniel Jr. (2013).

### 2.3.1.2.1 *Volume de entrada*

O volume afluente é calculado através do método racional utilizando-se a equação de intensidade-duração-frequência da região e um período de retorno  $T$  para diversas durações de chuva. Alguns autores aplicam o método diretamente (GUTIERREZ, 2011), no entanto por ser de aplicação simples considerando um bloco único de precipitação constante e intensidade constante, Sjöberg e Martensson (apud Urbonas e Stahre, 1993 apud Sousa, 2002) sugerem um acréscimo de 25% ao volume acumulado como forma de obter mais precisão ao cálculo do volume. Através de simulações contínuas de registros cronológicos de precipitação os autores constataram que esse acréscimo compensa a falta dos cálculos de precipitação anterior e posterior à máxima, excluídas do método de bloco único. O mesmo acréscimo foi utilizado nos cálculos para volume de entrada nas estruturas de Melo (2014).

Os tempos de retorno adotados para projetos de microdrenagem estão entre 2 e 10 anos e podem ser estimados de acordo com o uso da terra (Tabela 6).

Tabela 6: Período de retorno de acordo com ocupação da área.

<b>Tipo de ocupação da área</b>	<b>Período de Retorno (anos)</b>
Áreas residenciais	2
Áreas comerciais	5
Áreas com edifícios públicos	5
Aeroportos	2-5
Áreas comerciais altamente valorizadas e terminais aeroportuários	5-10

Fonte: Fugita (1980) apud Pompeo (2001)

O coeficiente de escoamento (C) é calculado baseado no uso da terra conforme Tabela 6. Para áreas onde existem múltiplos usos o valor é obtido pela média ponderada dos valores dos coeficientes de deflúvio pelas porcentagens das áreas que representam.

Tabela 7: Coeficientes de escoamento superficial

<b>Superfícies</b>	<b>Valores de C</b>
Telhados perfeitos sem fuga	0,70-0,95
Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85-0,90
Pavimentação de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0,70-0,85
Para superfícies anteriores sem as juntas tomadas	0,50-0,70
Pavimentação de blocos inferiores sem as juntas tomadas	0,40-0,50
Estradas macadamizadas	0,25-0,60
Estradas e passeios de pedregulho	0,15-0,30
Superfícies não revestidas, pátios de estradas de ferro e terrenos descampados, parques, jardins, dependendo da declividade	0,10-0,30
De solo na natureza e do subsolo	0,01-0,20

Fonte: Villela e Mattos (1980)

O próximo passo é então dimensionar a área superficial  $A_s$  (m<sup>2</sup>) da estrutura e o volume  $V_t$  (m<sup>3</sup>) usando-se a Equação 1:

$$V_t = A_s * H \quad (1)$$

Adotando-se as recomendações para dimensionamento da área superficial relativa à porcentagem da área impermeável da bacia contribuinte, o projetista pode admitir preliminarmente os valores de

base, largura e altura que poderão ser posteriormente modificados para atingir o volume  $V_t$ . (CADORE, 2016; SOUSA 2002).

### 2.3.1.2.2 *Volume de saída*

Tipicamente em dispositivos de infiltração como valas e trincheiras o volume de saída é calculado pelo produto da condutividade hidráulica pela área de infiltração (GUTIERREZ, 2011). No entanto podem existir divergências quanto a área de infiltração adotada bem como uma eventual colmatagem pode ser considerada, introduzindo um coeficiente de segurança (BAPTISTA, 2005).

Por exemplo, em países como Estados Unidos e Suécia considera-se o fundo colmatado e a infiltração ocorrendo apenas pelas laterais do dispositivo (LEEFLANG et al. 1995 apud BAPTISTA, 2005). Já no Japão toda a superfície participa da infiltração (PETERSEN, 1993 et al. apud BAPTISTA, 2005).

No Brasil, em seu trabalho, Sousa (2002) utiliza a Lei de Darcy para o cálculo do volume efluente de duas trincheiras de infiltração. Em uma delas é considerado para fins de segurança, o fundo colmatado e a redução da condutividade hidráulica por um fator de 2, enquanto na segunda unidade não se utiliza redução e o valor da condutividade hidráulica é uma média entre o valor máximo e mínimo calculados nos testes de infiltração. A infiltração é dada como constante e ocorrendo apenas pelas paredes laterais. Como considera-se o solo saturado, obtém-se o gradiente hidráulico unitário e utiliza-se a Equação 2 a seguir para o cálculo do volume de saída.

$$V_s = k \nabla f * \frac{A_{perc}}{2} . t \quad (2)$$

Sendo:

$V_s$  = Volume acumulado de saída para diversas durações  $t$  ( $m^3$ )

$K$  = condutividade hidráulica saturada (m/h)

$f$  = gradiente hidráulico = 1,0

$A_{perc}$  = área de percolação ou infiltração ( $m^2$ )

$t$  = duração da precipitação (h)

Uma outra abordagem foi realizada no trabalho de Melo (2014). Na concepção do jardim de chuva foi calculado o volume de saída

utilizando como área de infiltração apenas a base do dispositivo pelo valor da lâmina infiltrada acumulada no tempo  $t$  (Equação 3), calculado com um ensaio de anel único, através da metodologia Beerkan . No entanto não foi utilizado coeficiente de segurança.

$$V_s = A_{\text{infiltração}} \times I_{\text{acumulada}} \quad (3)$$

Sendo:

$V_s$  = volume de saída ( $m^3$ )

$A_{\text{infiltração}}$  = área de infiltração ( $m^2$ )

$I_{\text{acumulada}}$  = infiltração acumulada (m)

No entanto, nos biofiltros deve-se notar que a presença das plantas causa perdas de água por evapotranspiração, sendo um fator a ser acrescentado no cálculo do volume de saída. Ainda, Cadore (2016) recomenda um estudo mais aprofundado sobre a relação solo-planta e seu impacto no processo de infiltração.

No dimensionamento da estrutura de bioretenção em Santa Maria/RS, Daniel Jr. (2013) calculou vazão de saída através da combinação dos valores de evapotranspiração e infiltração. Para o cálculo da taxa de infiltração o autor realizou um ensaio de acordo com as normas da NBR para implantação de tanques sépticos atribuindo um coeficiente de segurança de 1,5 para a taxa de infiltração encontrada. A evapotranspiração foi baseada nas normas climatológicas do município e através do método de Thornwaite que multiplicado pelo coeficiente de cultura fornece a taxa média de água perdida por esse processo por mês.

#### 2.3.1.2.3 *Cálculo do volume do biofiltro*

A partir da construção do gráfico da curva-envelope identifica-se o ponto de máxima diferença entre as curvas de volume afluente ( $V_e$ ) e o volume de saída da estrutura ( $V_s$ ), o que resulta no volume ( $V$ ) da estrutura de acordo com a Equação 4.

$$V = \max (V_e - V_s) \quad (4)$$

Por fim a determinação do volume necessário para o armazenamento ( $V_{dim}$ ) pode ser calculada através da Equação 5.

$$V_{dim} = \frac{V}{\emptyset} \quad (5)$$

Onde  $\emptyset$  é a porosidade do material.

Comparando-se  $V_t$  calculado no começo ao  $V_{dim}$  neste último passo, pode-se aumentar ou reduzir as dimensões da estrutura para atingir o tamanho ótimo do biofiltro.

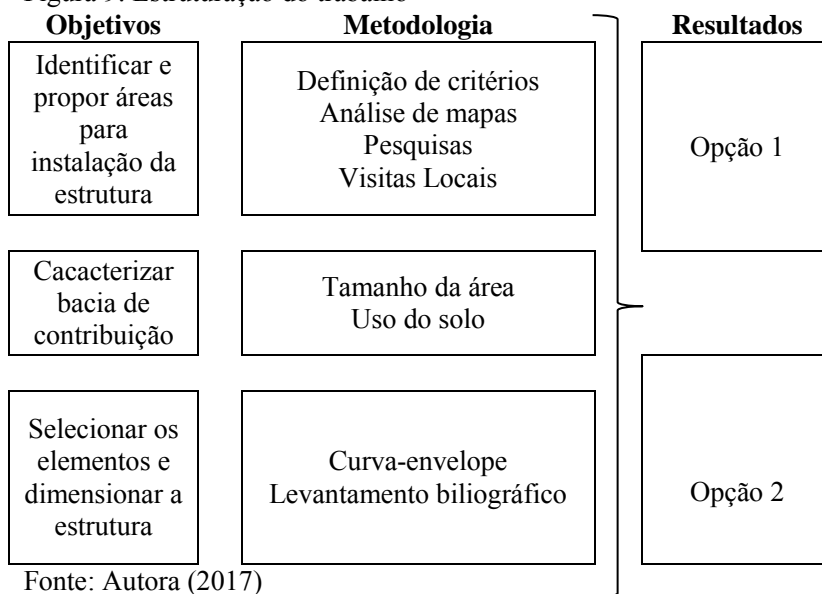
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado um estudo para a seleção da área de implantação do biofiltro, com base em critérios estabelecidos, incluindo fatores limitantes de projeto, justificativa para uso do biofiltro e fatores sociais, em que o biofiltro contribua para o bem-estar da população.

Posteriormente, foi feita a caracterização da área de contribuição dos locais selecionados, para obtenção do tamanho e tipo de uso do solo.

O tipo de biofiltro foi definido com base na sua proposta de uso, que levou em consideração o tipo de escoamento gerado e a característica infiltrante do solo local. Foram calculadas as dimensões da estrutura, bem como a de seus elementos, para cada uma das áreas selecionadas. Um esquema de como foi realizado o trabalho pode ser visto na Figura 9.

Figura 9: Estruturação do trabalho



### 3.1 Seleção da Área de estudo

Os fatores determinantes para a escolha da área de estudo foram baseados tanto na contribuição técnica do biofiltro quanto na contribuição social. O aspecto técnico inclui sua eficiência no tratamento das águas pluviais em áreas densamente urbanizadas e o controle da quantidade de água escoada. O fator social envolve o agradável aspecto paisagístico, com aumento de áreas verdes que influenciam positivamente o bem estar da população.

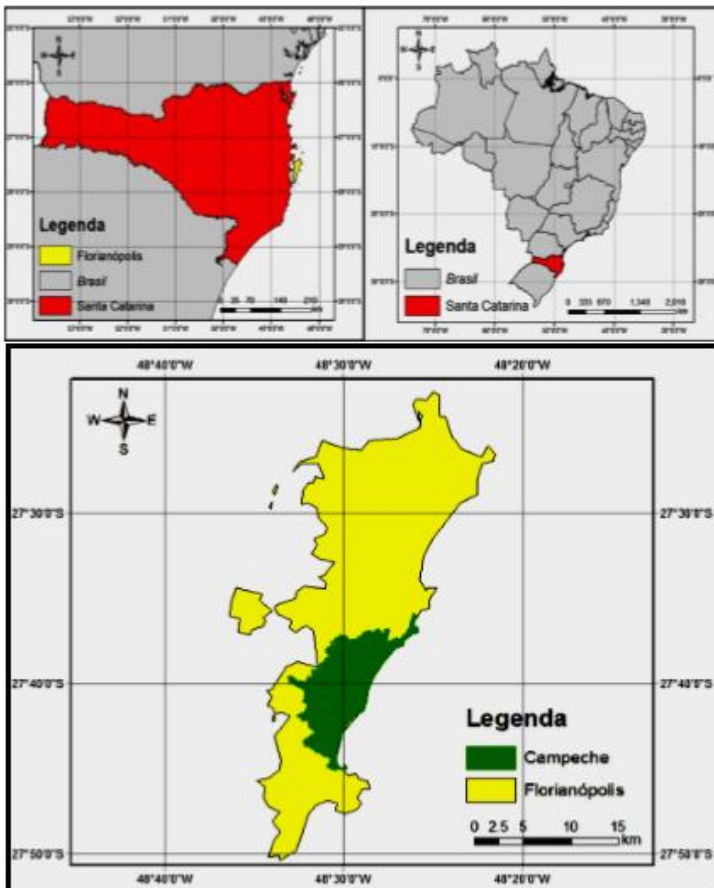
Num contexto amplo, foi determinado que a área de instalação do biofiltro estaria localizada no Distrito do Campeche. Esta escolha foi motivada pela relevância hidrológica desta região, devido a presença de nascentes, lagoas, manguezal e o Aquífero do Campeche (PACHECO, 2015). De acordo com Caprario (2017), a presença de rede de drenagem pluvial, associada a estruturas compensatórias reduz a suscetibilidade de alagamentos e inundações nesta região. Ainda, percebe-se a oportunidade de construção de uma técnica compensatória tal como o biofiltro observando-se as projeções de crescimento para esta região. O estudo do crescimento urbano prevê um aumento de quase 50% no número de habitantes do Campeche até 2050

o Setor Campeche deveria ser planejado como um subcentro urbano, recebendo maior adensamento e outros usos do solo, mas de forma planejada e estrita, já que há diversos ecossistemas frágeis próximos (PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS, 2015, p. 245).

O Distrito do Campeche está localizado na parte insular sul do Município de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina entre as coordenadas geográficas 27°10' e 27°50' latitude sul, e entre 48°25' e 48°35' de longitude oeste conforme apresentado na Figura 10. O clima da região, com base na classificação de Koppen enquadra-se como subtropical úmido, com temperatura média de 20,3°C e umidade relativa do ar de 82%, sendo fevereiro o mês mais quente e julho o mês mais frio (SILVA et al. 2015). Com uma pluviosidade média anual de 1462mm não se observam meses secos, ou seja, as menores precipitações observadas ainda tem magnitude significativa (SIMIONI et al. 2004). O uso da terra está dividido entre ocupações comerciais e residenciais com algumas áreas vegetadas e o solo constituinte é caracterizado como arenoso (PACHECO, 2015)



Figura 10: Localização do Distrito do Campeche



Fonte: Pacheco (2015).

Os critérios aplicados para a seleção da área de contribuição e implantação incluíram :

- Altura do lençol freático em relação a superfície > 2 metros
- Tamanho da área de contribuição até 20.000m<sup>2</sup>
- Presença de áreas comerciais.
- Presença de vias de tráfico intenso.
- Disponibilidade de espaço para construção da estrutura.
- De fácil visibilidade para a população.
- Possibilidade de integração com projetos municipais.

As informações foram integradas após a análise dos projetos de rede de drenagem executados no Distrito do Campeche, cedidos em formato CAD pela Prefeitura Municipal de Florianópolis. Para o estudo do nível do lençol freático foi utilizado o mapa cedido pela Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN), que identifica as espessuras das zonas insaturadas do Aquífero do Campeche. No entanto não foram encontrados dados referentes a sazonalidade.

Também foi realizada pesquisa no site da Prefeitura de Florianópolis acerca de projetos paisagísticos, tais como como revitalização de áreas através de construções de parques ou praças. Visitas locais foram necessárias para a inspeção das áreas pre-selecionadas com a finalidade de observar o escoamento num evento chuvoso, bem como a disponibilidade de espaço físico para a construção da estrutura.

### **3.2 Caracterização da área contribuinte e local de implantação**

Para o cálculo das áreas de contribuição bem como a avaliação do uso do solo, foi utilizado o software ArcGIS.

Para o estudo do escoamento, fez se uma associação aos resultados encontrados por Pacheco (2011), que analisou qualitativamente o escoamento gerado para uma vala de infiltração na região de estudo. De acordo com o autor, foram encontrados valores de turbidez,  $DQO_t$  e sólidos totais acima dos valores permitidos pela Legislação do Conama 357 para as águas superficiais classe 3. Metais pesados tais como Cd, Cu, Pb e Cr foram também encontrados acima destes limites em alguns eventos.

Por falta de instrumentos para o teste de condutividade hidráulica nas áreas pre-selecionadas, foi adotado neste trabalho o valor da condutividade hidráulica saturada identificada pelo ensaio do slug teste para a mesma vala de infiltração. Este ensaio para a vala de infiltração no trabalho de Pacheco (2015) foi realizado para os 3 poços de monitoramento a 3 metros de profundidade instalados ao redor da vala de infiltração. Sendo assim, assumindo-se que as características de infiltração do solo nativo abaixo da base da vala são similares à do solo nativo abaixo da base do biofiltro nesta mesma região, adotou-se o valor de 18,65 mm/h para condutividade hidráulica saturada.

No entanto é extremamente recomendado que após a seleção da área de implantação seja realizado o teste de condutividade hidráulica *in situ* e utilizado no procedimento de cálculo.

### **3.3 Seleção do biofiltro**

A seleção do tipo de biofiltro levou em consideração a condutividade hidráulica do solo nativo, as características da bacia contribuinte, objetivo do biofiltro e simplicidade de construção. A aplicação destes critérios foi realizada conforme o levantamento bibliográfico expresso no Quadro 1, da seção 2.2.3 deste trabalho.

### **3.4 Dimensionamento e Seleção dos elementos do biofiltro**

Para cada uma das opções pré-definidas foram feitas as definições da área superficial, tipo de vegetação a ser utilizada, meio filtrante e cálculo do volume do biofiltro.

#### **3.4.1 Área superficial**

O cálculo da área superficial do biofiltro foi realizado com base na porcentagem impermeável da área drenante, correspondendo a 5% desta área (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2001).

A seguir foram estimados os valores de base e largura que poderiam ser modificados afim de alcançar o volume ideal da estrutura. A altura da camada de represamento levou em consideração a distribuição de chuvas na cidade de Florianópolis bem como teor de umidade. Procurou-se limitar o tempo de represamento para evitar a proliferação de mosquitos, permitir adequado tempo de tratamento na camada filtrante e um ambiente saudável para a vegetação. Sendo assim foi adotado o tempo de represamento de 24 horas e altura da camada de acordo com a Tabela 2.

#### **3.4.2 Vegetação**

Uma sugestão preliminar para as plantas componentes do sistema foi realizada a partir de levantamento bibliográfico, em estudos sobre espécies nativas da região, cuja vegetação é caracterizada como restinga (FALKENBERG, 1999). Foram listadas preferencialmente plantas de pequeno e médio porte (até 1m) e que eram destacadas como “em extinção”. O intuito dessa sugestão foi de reintegrar tais plantas no ambiente, demonstrando sua importância para população.

Como de fundamental importância para o desempenho do biofiltro, foram também pesquisadas plantas de alta capacidade de

remoção de nitrogênio e fósforo, que fossem adaptáveis ao clima da região, ao solo arenoso e à dinâmica do biofiltro.

### **3.4.3 Meio filtrante**

A profundidade da camada filtrante foi adotada de acordo com o objetivo do biofiltro e característica do escoamento pluvial da bacia contribuinte. Ainda foi necessário o cálculo respeitando o nível mínimo de distância do aquífero.

Para a mistura do meio filtrante, seria adotada a recomendação de Minnessota Stormwater Mannual (2017), também utilizada no projeto de Davis et al. (2009) que recomendam 50% areia de construção, 30% solo superficial e 20% de matéria orgânica. Para isso faz-se necessário investigação das condições do solo superficial, se são propícias para compor o meio filtrante, verificadas através de análise granulométrica realizada de acordo com a NBR 7181 e laboratorial, para a identificação das concentrações de nitrogênio total e fósforo e os valores do Ph e condutividade. No entanto, devido ao curto cronograma para este trabalho, não puderam ser realizadas as devidas análises dos solos locais das áreas indicadas para instalação. Porém, este trabalho recomenda estes testes após a seleção da área final, visto que a utilização de solo superficial local pode facilitar o desenvolvimento das plantas.

Sendo assim, uma segunda opção que é independente do solo local foi adotada. Prince George's County (2007) sugere 85-88% de areia de construção(0.5-1 mm), 8-12% de uma mistura de silte e argila e 3-5% de matéria orgânica (humus). Especificamente, foi adotado o conceito usado no trabalho de Debusk e Wynn (2011), que instalou a estrutura na cidade de Blacksburg, VA, com média anual de precipitação de 1008mm/h, utilizando proporções de 88% areia de construção, 8% de finos e 4% de humus. Como resultado, obteve-se aproximadamente 100% de eficiência na remoção de poluentes (TSS, TN, TP), 97% na redução da vazão de pico e 99% do escoamento.

Como forma de verificar se a condutividade hidráulica desejada foi alcançada, é recomendado que se faça o teste da permeabilidade do meio em laboratório, com o uso do permeâmetro de carga constante (PEREIRA et al. 2015) sobre o solo fortemente compactado, devendo resultar numa condutividade hidráulica entre 100mm/h e 300mm/h.

Para que pudesse ser calculado o volume da estrutura, seria necessário ainda a porosidade do meio. De acordo com as referências para ambas misturas de solos descritas acima, a porosidade resultante desse meio seria de 25%, indicado como uma porosidade ideal

(PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007). Sendo assim, 0,25 foi a porosidade adotada para os cálculos da camada filtrante.

### 3.4.4 Camada de drenagem

A altura da camada de drenagem foi calculada subtraindo-se as respectivas alturas das camadas de represamento e filtração. Também segue-se a recomendação de FAWB (2009) em que a altura deve ser a mesma ou superior à da camada de represamento.

O material constituinte deve resultar em uma porosidade maior do que o meio filtrante e uma condutividade hidráulica de até 10 vezes maior.

Em adição, com o objetivo de prevenir que haja migração do meio filtrante para a camada de drenagem, foi adicionado 10 cm de areia grossa (1-2mm, porosidade 0,30) acima da camada de drenagem (BURGE et al. 2017).

### 3.4.5 Volume da estrutura

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o método da curva envelope, por ser simples e de aplicação direta a partir dos dados da curva IDF e caracterização do local de implantação. Os passos para o cálculo seguiram o trabalho de Cadore (2016). Uma planilha para visualização do desenvolvimento do método é encontrada no Apêndice A.

- Volume de entrada

Para o cálculo do volume de entrada foi necessário primeiramente o cálculo da precipitação ( $I_t$ ) utilizando-se a equação de intensidade-duração-frequência ajustada para a estação pluviométrica de São José com dados de 1921 a 1972 (POMPEO, 2001 apud POMPEO, 1992)

$$i = \frac{145 T^{0,25}}{(t + 1,18)^{0,34}} \quad (6)$$

Para  $t \leq 60$  minutos

$$i = \frac{597 T^{0,32}}{(t - 3)^{0,73}} \quad (7)$$

Para  $t > 60$  minutos

Em que :

$i$  = intensidade de precipitação (mm/h)

$T$  = Período de retorno (anos)

$t$  = Duração da chuva (minutos)

O período de retorno adotado foi de 2 anos, adequado para projetos de microdrenagem. O coeficiente de escoamento foi definido de acordo com a ocupação do solo, e o valor retirado da Tabela 7.

Finalmente o volume de entrada foi calculado pela seguinte equação :

$$V_e = \frac{CIA}{360} * t \quad (8)$$

Onde ,

$V_e$  = Volume total escoado ( $m^3$ )

$C$  = Coeficiente de escoamento

$I$  = intensidade de precipitação para  $T$  anos de retorno (mm/h)

$t$  = duração da precipitação (s)

$A$  = Área da bacia de contribuição (ha)

Neste trabalho não foi acrescido 25% ao volume final, visto que numa análise de trabalhos que não incluíram essa metodologia, não houve subdimensionamento da estrutura .

- Volume de saída

O volume de saída foi calculado admitindo a condutividade hidráulica saturada do solo local como sendo 18mm/h e a infiltração ocorrendo pela área total das paredes laterais e o fundo. A justificativa para essa metodologia foi com base na análise do comportamento de dispositivos de infiltração apresentados nos trabalhos de Sousa (2002) e Cadore (2013) que adotando o fundo como colmatado resultou em super dimensionamento de uma trincheira de infiltração e célula de biorretenção respectivamente. Uma outra abordagem pode ser

relacionada ao fato de que biofiltros, diferentemente de dispositivos de infiltração tais como trincheiras, sofrem menos risco de colmatção devido à sua função de filtração. Numa abordagem menos conservadora também não foi adotado coeficiente de segurança.

$$V_s = k * t * 2H(L + b) + (bxL) \quad (9)$$

Em que:

$V_s$ = Volume de saída ( $m^3$ )

$H$ = Altura do biofiltro (m)

$L$ = Largura (m)

$b$ = comprimento (m)

$k$ = condutividade hidráulica (m/h)

$t$ = tempo (h)

- Volume de armazenamento

A partir do gráfico com as curvas de volumes afluente e efluente, identificou-se o ponto máximo de diferença entre as curvas, que indica o volume da estrutura.

O volume da estrutura deve ser capaz de receber o volume calculado acima considerando-se as respectivas porosidades de cada camada (meio filtrante, camada de transição e drenagem). Adiciona-se ainda o volume correspondente ao volume de represamento.

$$(V_{armazenamento} = (b \times L \times hf)\Phi_f + (b \times L \times ht)\Phi_t + (b \times L \times hd)\Phi_d + (h_r \times b \times L) \quad (10)$$

Em que:

$h_r$  = altura do represamento

$h_f$  = altura do meio filtrante

$h_t$  = altura da camada de transição

$h_d$  = altura da camada de drenagem

$\Phi_f$ = porosidade meio filtrante (0,25)

$\Phi_t$  = porosidade camada de transição (0,30)

$\Phi_d$  = porosidade camada de drenagem (0,40)

Após ser estimado o volume de armazenamento, se realiza um processo iterativo com as dimensões do biofiltro para definir o volume da estrutura de acordo com as seguintes relações (CADORE, 2016):

Se  $V_{\text{estrutura}} \gg V_{\text{armazenamento}}$ , reduz-se as dimensões da estrutura e recomeça-se na Equação 9

Se  $V_{\text{estrutura}} \ll V_{\text{armazenamento}}$ , aumenta-se as dimensões da estrutura e recomeça-se na Equação 9

Se  $V_{\text{estrutura}} \pm V_{\text{armazenamento}}$ , finaliza-se o dimensionamento.

### 3.4.6 Zona de entrada do biofiltro

A entrada do afluente no biofiltro foi projetada com o objetivo de captar 100% do escoamento gerado, utilizando-se a equação de Manning para dimensionar o conduto alimentador do sistema. Um maior detalhamento do cálculo pode ser verificado no Apêndice B.

$$Q = \frac{A \times R^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (11)$$

Em que :

$Q$ = Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$ = área da seção molhada ( $\text{m}^2$ )

$R$ = Raio hidráulico (m) ;  $R = A/P$  ( $P$ = perímetro molhado (m))

$J$ = Declividade do fundo (m/m)

$n$ = Coeficiente de rugosidade de Manning

Foi adotado canal de concreto ( $n = 0,012$ ) de seção retangular, projetado para transportar a máxima vazão calculada através do método racional para variadas durações de chuva. O conhecimento da máxima vazão foi também necessário para definir a declividade do fundo, utilizando-se a Tabela 8.

Tabela 8: Declividade do fundo

Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Declividade (m/m)
>10	0,0001 a 0,0003
3 a 10	0,00025 a 0,0005
0,1 a 3	0,0005 a 0,001
<0,1	0,001 a 0,004

Fonte: Pereira e Melo (s.d.)



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para uma melhor organização e evitar repetição, os resultados foram separados para as duas opções de projeto (Opção 1 e Opção 2). Foram apresentadas as áreas selecionadas com suas respectivas caracterizações, dimensionamento e seleção dos elementos dos biofiltros propostos bem como suas respectivas aplicabilidades. Posteriormente é apresentada foram apresentadas as principais dificuldades encontradas durante o estudo de concepção do biofiltro.

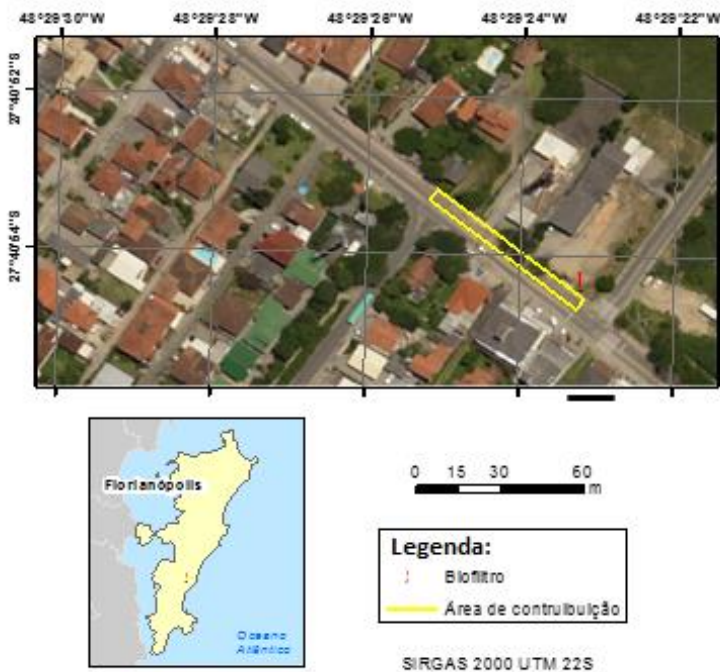
### **4.1 Opção 1**

#### **4.1.1 Área de contribuição e localização da estrutura**

A área de contribuição escolhida é uma rua de 350 m<sup>2</sup> e está localizada em uma das zonas mais urbanizadas do Distrito do Campeche, onde nota-se intenso tráfego de veículos e ocupações residenciais e comerciais (Figura 11). Foi identificado que a área é 100% impermeabilizada por asfalto, o que levou à adoção de um coeficiente de escoamento igual 0,9. Atualmente a drenagem é realizada através de uma boca de lobo que direciona o escoamento para uma tubulação que finalmente drena as águas pluviais para uma calha natural. A espessura da zona não saturada nesta região foi classificada como entre 2 e 5 metros, no entanto, como não foram encontrados dados da variação de nível sazonal do aquífero, para critério de segurança, foi considerado a altura máxima do aquífero de 2m.

Neste projeto, a estrutura estaria construída ocupando parte de um terreno de uma academia (Figura 12), contribuindo para a melhoria do aspecto paisagístico do local, que atualmente é composto em parte por gramínea e parte por solo exposto.

Figura 11: Localização da área de contribuição para Opção 1



Fonte: Autora (2017)

Figura 12: Local de construção para Opção 1.



Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.2 Elementos de projeto e dimensionamento da estrutura.

Respeitando-se a distância de 0,6 metros do lençol freático, foi permitido ao biofiltro uma profundidade máxima de 1,4 m. Optou-se pelo tipo não-isolado, visto que a condutividade hidráulica saturada adotada permite que haja infiltração no solo sem necessidade de tubo de drenagem. O objetivo do biofiltro é o tratamento de contaminantes, por estar recebendo escoamento de uma área localizada em região urbanizada com consequente carreamento de poluentes nas águas pluviais. No entanto, a estrutura também contribuirá para redução do escoamento e recarga do aquífero.

Para esta finalidade, a altura da camada filtrante calculada foi de 0,6m, que de acordo com a Tabela 5 (pag. 22) é recomendada para sólidos suspensos, patógenos e tratamento de metais pesados, encontrados na análise do escoamento de Pacheco (2015). O meio filtrante é composto por 88% areia de construção (ou de rio) de diâmetro entre 0,5 e 1mm, 8% de finos (argila e silte) e 4% de humus.

A altura de represamento para solos com condutividade entre 20 e 40mm/h resultou em 0,2m . ,

Para a zona de drenagem foi calculada uma altura de 0,5m, preenchida com Brita 3 (diâmetro entre 2.5 e 5mm e prosidade 0,40), comumente utilizada na decantação de fossas sépticas e na drenagem do solo (TONIOLO BUSNELO, s.d.).

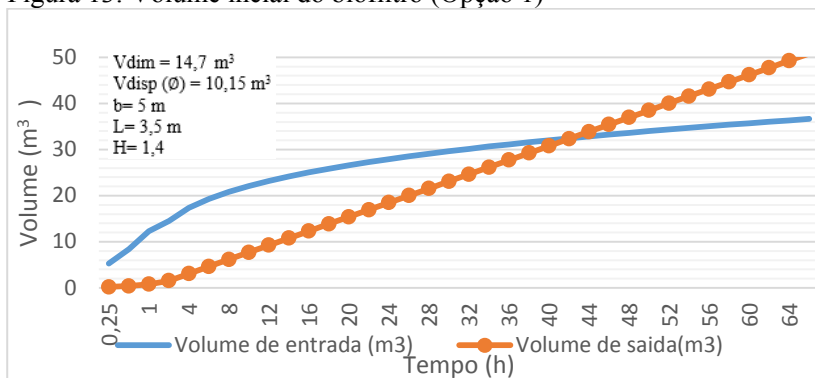
A área superficial equivalente a 5% da área impermeável resultou numa estrutura de 17,5 m<sup>2</sup>, sendo atribuída uma largura de 5 m e comprimento de 3,5m.

Em resumo, as características estruturais da célula foram:

- Área superficial: 17,5 m<sup>2</sup>
- Base: 3,5 m
- Largura: 5 m
- Profundidade: 1,4 m
- Altura meio filtrante ( $\Phi = 0,25$ ): 0,6 m
- Altura camada de transição ( $\Phi = 0,30$ ): 0,1 m
- Altura camada de drenagem ( $\Phi = 0,40$ ): 0,5 m
- Altura da camada de represamento: 0,2 m

O resultado do volume da estrutura pelo método da Curva-envelope é apresentado no gráfico da Figura 13.

Figura 13: Volume inicial do biofiltro (Opção 1)



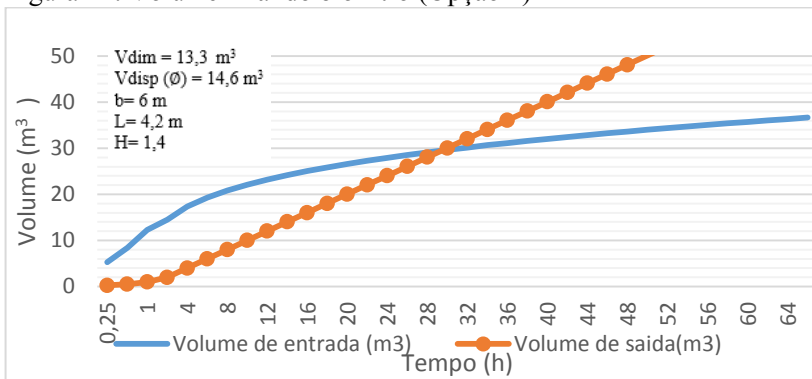
Fonte: Autora (2017)

Como pode ser visto, adotando-se uma área superficial equivalente a 5% da área de contribuição impermeável, não resultou num volume de armazenamento suficiente para estrutura. Sendo assim, após os ajustes, as novas dimensões da estrutura passaram a ser :

- Área superficial:  $25,2 \text{ m}^2$
- Base: 6 m
- Largura: 4,2 m
- Profundidade: 1,4 m
- Altura meio filtrante ( $\Phi = 0,25$ ): 0,6 m
- Altura camada de transição ( $\Phi = 0,30$ ): 0,1 m
- Altura camada de drenagem ( $\Phi = 0,40$ ): 0,5 m
- Altura da camada de represamento: 0,2 m

O volume final ajustado para o biofiltro pode ser visto no gráfico da Figura 14.

Figura 14: Volume final do biofiltro (Opção 1)



Fonte: Autora (2017)

Para esta opção, a área superficial ideal corresponde a 7,2% da parte impermeável da área de contribuição, e os ajustes resultaram num aumento de 4,5 m³. O volume máximo ocorre em 6 horas de duração de chuva, que significa o tempo em que a estrutura estará totalmente cheia, incluindo a superfície. Em 28h de duração de chuva a capacidade de infiltração supera o volume da precipitação, ocorrendo o esvaziamento após 28h de chuva.

#### 4.1.2.1 Zona de entrada

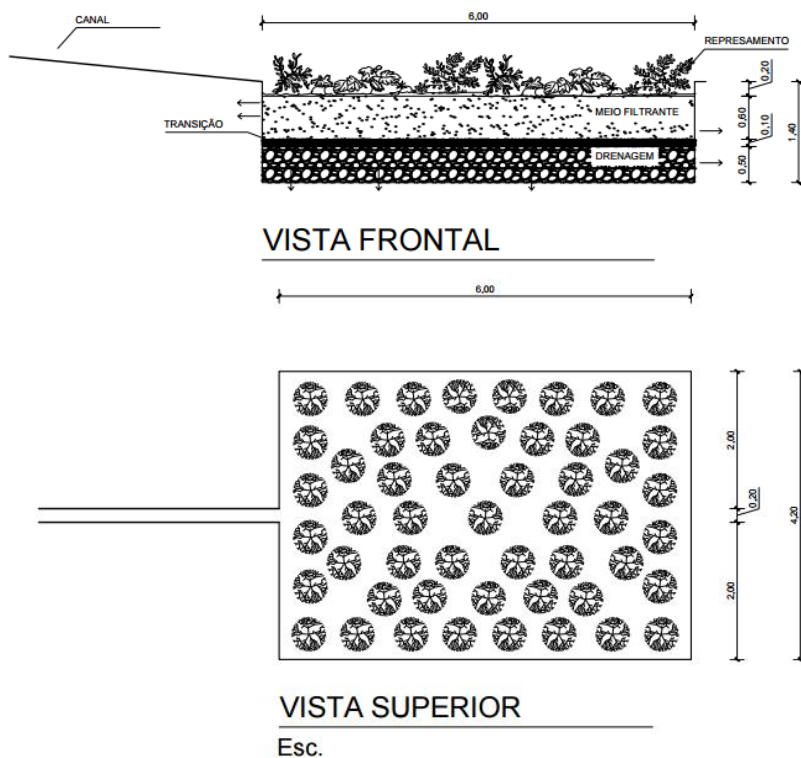
A entrada do escoamento no sistema foi calculada adotando um canal de concreto ( $n = 0,012$ ) de 3,5 metros de comprimento, 0,2m de largura e 0,1m de altura (altura da calçada). Foi proposto ser construído perpendicularmente à sarjeta, com inclinação de 0,1% (recomendada para vazões de até 0,1 m³/s) (PEREIRA; MELO, n.d). A vazão máxima para entrada nessa estrutura é de 0,0058 m³/s, valor correspondente a uma intensidade de chuva com duração de 15 minutos, enquanto a vazão máxima para o canal calculada pela equação de Manning é de 0,0071m³/s. Dividindo-se a vazão pela área do canal, foi calculada a velocidade do fluxo, de 0,3 m/s.

Para uma distribuição uniforme, a saída do canal alimentador deve estar localizada na metade da largura do biofiltro. Foi também proposto a colocação de seixos grandes na entrada, para evitar o carreamento do solo e para retenção de parte dos resíduos sólidos presentes no escoamento.

#### 4.1.2.2 Layout

O resultado final do design do biofiltro para a Opção 1 pode ser conferido na Figura 15.

Figura 15: Dimensões do biofiltro paa Opção 1 em perfil e planta baixa.



Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.2.3 Aplicabilidade

A Opção 1 representa biofiltros pequenos, planejados para tratamento de escoamento de áreas menores, como pequenos trechos de vias ou telhados. Dessa maneira, podem ser facilmente incorporados nos

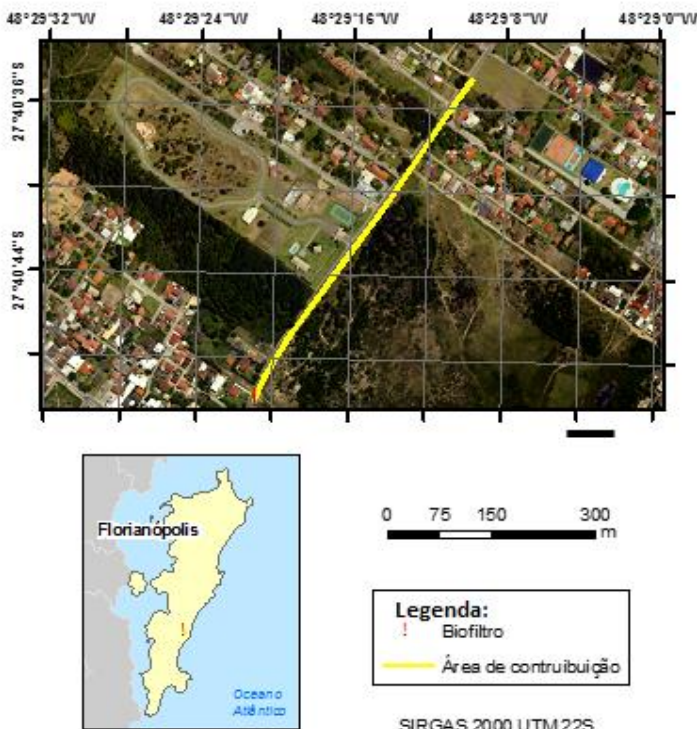
jardins de casa, fachadas comerciais ou adjacentes às vias, colaborando para o paisagismo do ambiente.

## 4.2 Opção 2

### 4.2.1 Área de contribuição e localização da estrutura

Esta área de  $2875 \text{ m}^2$ , 100% impermeabilizada com cobertura asfáltica ( $C = 0,90$ ) está localizada muito próxima à anterior e, consequentemente, identificada como uma área de intenso tráfego de veículos e classificada igualmente sobre uma zona não saturada entre 2 e 5m (Figura 16). Lateralmente à área de contribuição existe uma grande área vegetada, nomeada “antigo campo de aviação”, onde foi sugerido a construção do biofiltro (Figura 17).

Figura 16: Localização da área de contribuição da Opção 2.



Fonte: Autora

Figura 17: Local de construção para Opção 2.



Fonte: Autora (2017)

Atualmente, a drenagem deste trecho é feita através de sumidouros de drenagem, conforme são conhecidos os poços de infiltração utilizados em Florianópolis. No entanto, por falta de manutenção, estes dispositivos encontram-se obstruídos e não desempenham a função para que foram projetados. Durante um evento chuvoso, uma visita de campo ao local permitiu identificar que o escoamento gerado nesta área de contribuição é lançado para dentro do campo gramado e se infiltra no solo.

Especialmente nesta área, de acordo com a Prefeitura de Florianópolis (2013) existe um projeto para transformação deste campo em uma área de lazer e de convivência da comunidade. A proposta para o Parque Cultural do Campeche (PACUCA) pode ser vista na Figura 18.



Figura 18: Projeto PACUCA



Fonte: Comunidade Campeche (2012)

#### 4.2.2 Elementos de projeto e dimensionamento da estrutura.

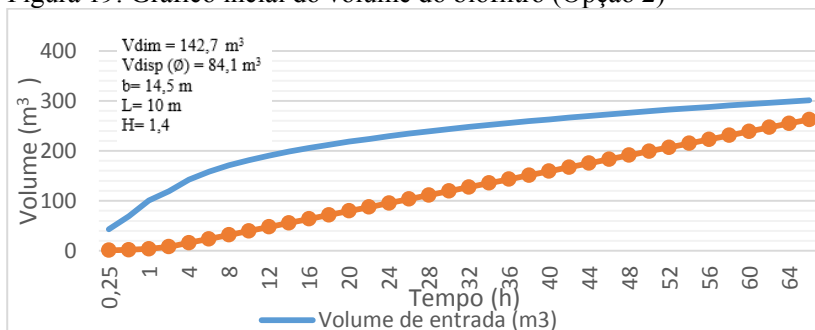
Assim como para no exemplo anterior foi adotada a altura máxima do aquífero de 2m, e portanto a profundidade do biofiltro deve respeitar o limite de 1,4m. Também inserida numa região de potencial carreamento de poluentes, foi atribuído o mesmo objetivo ao biofiltro e selecionados os mesmos elementos de projeto que o anterior.

Em resumo, as características do biofiltro para Opção 2 são:

- Área superficial: 145 m<sup>2</sup>
- Base: 14,5
- Largura: 10 m
- Profundidade: 1,4 m
- Altura meio filtrante ( $\Phi = 0,25$ ): 0,6 m
- Altura camada de transição ( $\Phi = 0,30$ ): 0,1 m
- Altura camada de drenagem ( $\Phi = 0,40$ ): 0,5 m
- Altura da camada de represamento: 0,2 m

O resultado do volume da estrutura é apresentado no gráfico da Figura 19.

Figura 19: Gráfico inicial do volume do biofiltro (Opção 2)



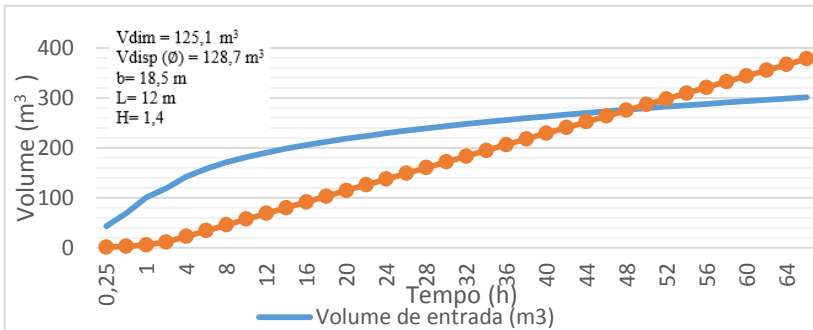
Fonte: Autora (2017)

Novamente, procedendo-se ao ajustes da área superficial, os resultados foram:

- Área superficial:  $222 \text{ m}^2$
- Base: 18,5
- Largura: 12 m
- Profundidade: 1,4 m
- Altura meio filtrante ( $\Phi = 0,25$ ): 0,6 m
- Altura camada de transição ( $\Phi = 0,30$ ): 0,1 m
- Altura camada de drenagem ( $\Phi = 0,40$ ): 0,5 m
- Altura da camada de represamento: 0,2 m

O novo grafico de volume pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20: Volume final do biofiltro (Opção 2)



Fonte: Autora (2017)

Calcula-se então que a área superficial para esta estrutura corresponde a 7,72% da área total impermeável e os ajustes resultaram num acréscimo de volume de  $41 \text{ m}^3$ .

O máximo volume no biofiltro ocorre em 8h de duração de chuva, e por volta de 48h a estrutura estará vazia.

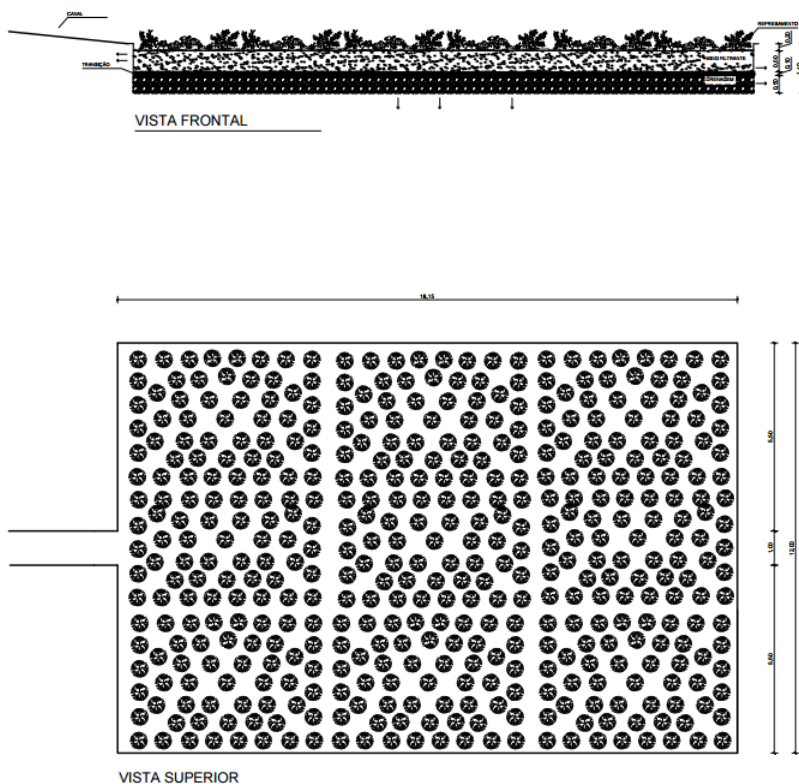
#### 4.2.2.1 Zona de entrada

O escoamento para estrutura será desviado da sarjeta por um canal de mesmo comprimento, declividade e altura que o sugerido na opção anterior. Será localizado perpendicular à sarjeta, porém com uma largura de 1 metro. A vazão máxima calculada para esta estrutura foi de  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto a vazão máxima de projeto é de  $0,048 \text{ m}^3/\text{s}$ , ocorrendo em uma chuva de duração de 15 minutos. A velocidade de escoamento para essa configuração foi de  $0,5 \text{ m/s}$ , dentro do limite recomendado por FAWB (2009)

#### 4.2.2.2 Layout

O resultado final do design do biofiltro para a Opção 2 pode ser conferido na Figura 21.

Figura 21: Dimensões do biofiltro para Opção 2 em perfil e planta baixa.



#### 4.2.2.3 Aplicabilidade

A Opção 2 apresenta-se com uma alternativa para águas pluviais provenientes de áreas maiores, tais como estacionamentos, áreas de condomínio e rodoviais. As áreas comuns, sob domínio público, como praças e parques são excelentes locais para a construção de biofiltros que exijam uma grande área superficial. A inclusão de biofiltros em áreas comuns promove o bem-estar da população, pela introdução de áreas verdes e ao mesmo tempo colabora que a idéia da inserção de técnicas compensatórias se tornem mais populares e aceitáveis pela comunidade.

### 4.3 Vegetação

Especificamente para remoção de nitrogênio, foi sugerido o uso do capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), demonstrado na Figura 22, devendo representar pelo menos 50% da vegetação do sistema. Segundo Verdetec (2015), é uma planta rústica, de raízes longas, que já vem sendo usada no Brasil. É simultaneamente hidrófila e xenófila, resistente a extremos hídricos e térmicos, tolerante a solos de baixa fertilidade e valores extremos de salinidade e toxicidade. Um estudo sobre seu uso para tratamento de esgoto sanitário em um sistema de tratamento do tipo alagados construídos, demonstrou uma eficiência de 90,5% para remoção de fósforo total e de 93,9% para nitrogênio amoniacal (UCKER et al. 2012). Outros estudos têm demonstrado sua eficiência no tratamento de solos contaminados por metais (CHEN et al. (2004); XIA et al. (2004) apud JOHNSON; SINGHAL (2007)).









Figura 22: Capim Vetiver









Fonte: Verdetec (2015)

O levantamento de espécies nativas da região em potencial risco de extinção e que apresentem características que atendem potencialmente à funcionalidade de paisagismo resultou no Quadro 3: Vegetação pré-selecionada para ornamentação do biofiltro. No entanto, é recomendado que se faça um estudo aprofundado das espécies, afim de se verificar a utilidade das mesmas no tratamento de contaminantes.

Quadro 3: Vegetação pré-selecionada para ornamentação do biofiltro.

Referência	Localização	Espécie	Visual
Falkenberg (1999)	-prais e dunas frontais -recebem maior influência da salinidade e umidade	<i>Petunia littoralis</i> (rasteira)	
		<i>Plantago catharinea</i> (rasteira)	
	depressões com ou sem água corrente, podendo haver influência salina ou não.	<i>Tibouchina asperior</i>	
	Dunas móveis, fixas ou semifixas, planícies e lagunas (menor influência salinidade)	<i>Senecio reitzianus</i>	
		<i>Eupatorium ulei</i>	
		<i>Rollinia maritima</i>	
		<i>Mimosa catharinensis</i>	
		<i>Aristolochia robertoi</i>	

Referência	Localização	Espécie	Visual
Gandolfo e Hazanaki (2011)		<i>Weinmannia discolor</i>	
		<i>Baccharis muelleri</i>	
		<i>Roupala pallida</i>	
		<i>Guaipira opposita</i>	
		<i>Ipomoea pes-caprae</i>	
		<i>Epidendrum fulgens</i>	

#### 4.4 Dificuldades

Para a seleção das áreas, entre os grandes desafios percebidos, destaca-se a alta porcentagem de áreas em zonas com o aquífero muito alto, classificado como entre 0 e 1 m de distância da superfície.

Outra limitação encontrada foi a falta de espaço disponível para instalação. Diferentemente de países em que o uso de técnicas compensatórias é bastante popular, os parques e praças identificados na região não foram projetados para receber escoamento pluvial. As redes

de drenagem se encontram distantes destes locais e seria necessário uma enorme mudança na infraestrutura para drenar o escoamento para estes lugares. Ainda, não há disponibilidade de espaços nas calçadas para construções de biofiltros adjacentes às vias.

Uma dificuldade encontrada na seleção dos componentes do biofiltro foi na tentativa de encontrar modelos utilizados no Brasil. Abordando principalmente um dos elementos mais importantes do biofiltro, a camada filtrante composta por uma mistura de solo, não foram encontradas similaridades comparando-se a literatura internacional e os projetos nacionais referenciados neste trabalho.

A escolha da vegetação também necessita mais detalhes. Na literatura internacional foram encontrados mais de um trabalho com sugestões de plantas com características de remoção de poluentes, no entanto na literatura brasileira, especialmente para espécies nativas de restinga da região Sul, nada foi encontrado.



## 5 CONCLUSÃO

Procurando apresentar-se como uma contribuição para o uso de técnicas compensatórias no Brasil, especialmente em uma região costeira, este trabalho discorreu sobre o planejamento de um biofiltro no Distrito do Campeche, ao sul de Florianópolis, uma região de grande relevância hidrológica.

Primeiramente, para a seleção das áreas possíveis de implantação de uma célula de biofiltração, foi julgado fundamental que além da contribuição técnica na redução do escoamento e tratamento de poluentes, o biofiltro pudesse causar um impacto social, trazendo benefícios para a população. As áreas selecionadas como potenciais para implantação do biofiltro estão localizadas próximas entre si, em uma região movimentada e de grande visibilidade. Embora tenha sido difícil a localização de espaços para implantação das estruturas, devido a proximidade do lençol freático e limitado espaço, foi observado que existem áreas potenciais para implementação de estruturas, no entanto seria necessário um replanejamento da drenagem orientado para tais áreas, como pequenas praças e rótulas.

A caracterização das áreas contribuintes, como tamanho e uso do solo foram fundamentais para o processo de dimensionamento das estruturas, resultando em duas áreas com diferentes tamanhos e ambas completamente impermeabilizadas por cobertura asfáltica. Uma estimativa das características do escoamento da região foi feito com base em estudos locais, que mostraram cargas de alguns poluentes acima dos limites aceitáveis.

O tipo de biofiltro foi adaptado para as características da bacia de contribuição, levando-se em conta a capacidade de infiltração e procurando priorizar o tratamento de contaminantes presentes no escoamento, além do controle dos volumes de escoamento superficial e recarga do aquífero. Os elementos componentes do sistema seguiram as sugestões dadas pela literatura referenciada, sendo necessárias algumas adaptações para a implantação na região em questão. No entanto, como um dos componentes fundamentais do sistema, é recomendado uma análise mais profunda da vegetação de restinga sugerida, visto que dentre as plantas pre-selecionadas, precisam ser escolhidas as que apresentam-se melhores na remoção de contaminantes.

Para a composição do meio filtrante, este trabalho recomenda o estudo do solo local, o que pode reduzir os custos do projeto e contribuir para o crescimento da vegetação.

O dimensionamento da estrutura foi calculado através do método da curva-envelope, em que para uma área de  $350 \text{ m}^2$  é necessário um biofiltro de  $25,2 \text{ m}^2$  de área superficial, sendo recomendado a sua implantação em jardins de residências, canteiros e fachadas comerciais. Para uma área maior, de  $2875 \text{ m}^2$ , uma estrutura de  $222 \text{ m}^2$  é suficiente para captar o volume gerado pela rua pavimentada. Porém, devido sua grande dimensão é recomendado a implantação em áreas públicas.

Pelos inúmeros benefícios dos biofiltros, como a redução de volume de escoamento e melhoria da qualidade das águas urbanas e em vista das dificuldades encontradas para adoção desta técnica nos ambientes urbanizados, faz-se necessária a realização de estudos que avaliem as possibilidades, estabeleçam diretrizes e forneçam alternativas no contexto nacional brasileiro para estimular a adoção do uso de biofiltros.

## REFERÊNCIAS

ALLASIA, D. G.; TASSI, R.; GONÇALVES, L. S. **Apostila da Disciplina Drenagem e Hidrologia Urbana..** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, 2011

BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** 2 ed. ABRH, 2005.

BLECKEN, G.; ZINGER, Y.; DELETIC, A.; FLETCHER, T. D.; HEDSTROM, A.; VIKLANDER. M. **Laboratory study on stormwater biofiltration: Nutrient and sediment removal in cold temperatures.** Journal of Hydrology, v. 394, p. 507-514, 2010.

BOSCH, D.; PEASE, J.; WOLFE, M. L.; ZOBEL, C.; OSORIO, J.; COBB, T. D. et al. **Community DECISIONS: Stakeholder focused watershed planning,** Journal of Environmental Management, vol. 112, p. 226-232, 2012.

BRAGA, R. M. B. **Estudo da remoção de poluentes de águas da drenagem urbana por um dispositivo de biorretenção.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Alagoas, 2017.

BROWN, R. A; HUNT, W. F. **Impacts of Construction Activity on Bioretention Performance.** Journal of Hydrologic Engineering, v. 15, issue 6, June 2010.

BURGE, K; LEINSTER, S; BREEN, P; THOMSON, D. **Finding the Right Bioretention Soil Media.** Rainwater And Urban Design, 2007.

BURREL, B.; DAVAR, K.; HUGHES, R. **A Review of Flood Management Considering the Impacts of Climate Change,** Water International, v. 32, n. 3, p. 342-359, 2007.

BURNS M. J.; FLETCHER T.D.; WALSH C. J.; LADSON A. R.; HATT B. E. **Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform.** Landscape And Urban Planning, v. 105, p. 230-240, 2012.

CADORE, R. C. **Critérios de dimensionamento de biorretenções**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, 116p. UFSM Santa Maria, 2016.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos, São Paulo. 304, 2005.

CAPRARIO, J. **Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

CHENG, M.; COFFMAN, L. S.; CLAR, M. L.; **Low Impact Hydrologic Analysis**, Speciality Symposium on Urban Drainage Modelling at the World Water and Environmental Resources Congress, May 2001.

COFFMAN, L. et al. Design considerations associated with bioretention practices. Proc., 20th Anniversary Conf. on Water Management in the '90s, ASCE, Reston, Va, p. 130-133, 1993.

COMUNIDADE CAMPECHE. **Projeto do Pacuca (Parque Cultural do Campeche)**. 2012. Disponível em <<https://www.slideshare.net/distritocampech/pacuca>>, visualizado em 1 de Junho de 2017.

DANIEL JR, J. J. **Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. Dissertação de mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 117 p.UFSM Santa Maria , 2013.

DAVIS, A. P; **Field Performance of Bioretention: Hydrologic Impacts**. Journal of Hydrologic Engineering, v. 3, issue 2, February 2008.

DAVIS, A. P. et al. **Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs**. Journal of Environmental Engineering, v. 135, issue 3, March 2009.

DeBUSK, K. M.; WYNN, T. M.; **Storm-Water Bioretention for Runoff Quality and Quantity Mitigation**. Journal of Environmental Engineering, v. 137, issue 9, September 2011.

DIAS, F. S.; ANTUNES, P. T. S.C. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos..** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 2010.

DORSEY, J.; MATHEUS, J. **Bioretention Design Specifications Updates**. Rainwater and Land Development Manual, 2014. Disponível em [http://www.tmacog.org/Environment/Stormwater/2014/RLD\\_BRC\\_Spec\\_Changes\\_v4\\_6\\_18\\_14.pdf](http://www.tmacog.org/Environment/Stormwater/2014/RLD_BRC_Spec_Changes_v4_6_18_14.pdf), visualizado em 31 de Maio de 2017.

DUCHENE, M.; MCBEAN, E.; THOMSON, N. 1994, **Modelling of Infiltration from Trenches for Storm-Water Control**, Journal of Water Resources Planning and Management, v. 120, n.3, p. 276-293.

EPA. **Low Impact Development Hydrologic Analysis**. 2000. Disponível em <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=20004JTW.txt>>, visualizado em 06 de Março de 2017.

FALKENBERG, D. B. **Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, sul do Brasil**. INSULA Revista de Botânica, Florianópolis, v. 28, p. 01, jan. 1999. ISSN 2178-4574.

FAWB, **Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems, Facility for Advancing Water Biofiltration**. Monash University, June 2009. ISBN 978-0-9805831-1-3. Disponível em: <http://www.monash.edu.au/fawb/products/fawb-adoption-guidelines-full-document.pdf>> Acessado em 23 de Mar. 2017.

FAWB. **Advancing the Design of Stormwater Biofiltration**. Monash University, 2008. Disponível em <http://www.monash.edu.au/fawb/products/fawb-advancing-rain-gardens-workshop-booklet.pdf>. Acessado em 23 de Mar. de 2017.

GANDOLFO, E. S.; HANAZAKI, N. **Etnobotânica e urbanização: conhecimento e utilização de plantas de restinga pela comunidade nativa do distrito do Campeche** (Florianópolis, SC). Acta Bot. Bras., Feira de Santana, v. 25, n. 1, p. 168-177, Mar. 2011.

GUTIERREZ, L. A. R. **Avaliação da qualidade da água de chuva e de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos-SP**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2011.

HUNT, W.F.; LORD, B. & SIA, A. **Plant Selection for Bioretention Systems and Stormwater Treatment Practices**. SpringerBriefs in Water Science and Technology, v. II, 59p. ISBN: 978-981-287-244-9. Springer Singapore, 2015.

HUNT, W.F.; SMITH, J.T.; JADLOCKIW, S. J.; HATHAWAY, J. M.; EUBANKS P. R. **Pollutant removal and peak flow mitigation by a bioretention cell in urban Charlotte, NC**. Journal of Environmental Engineering, v. 134. Issue 5, p. 403-408, 2008

HUNT, W. & JARRET, A.R. **Pollutant removal evaluation and hydraulic characterization for bioretention stormwater treatment devices. A thesis in Agricultural and Biological Engineering. The Graduate School, The Pennsylvania State University**. August 2003.

JOHSON, A. and SINGHAL, N. **Modelling the role of plants for metal removal in stormwater bioretention systems**. Novatec, 2007.

LIU, J; SAMPLE, D.J.; BELL, C; GUAN, Y. **Review and Research Needs of Bioretention Used for the Treatment of Urban Stormwater**. Water, v.6, p. 1069-1099, 2014.

MACEDO, M. B.; ROSA, A.; MENDIONDO, E. M.; SOUZA, V. C. B. **Otimização da eficiência de técnicas compensatórias de biorretenção em clima subtropical**” in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, Nov. 2015.

MANGANGKA, I. R.; LIU, A.; GONNETILLEKE, A.; EGODAWATTA, P. & SPRINGERLINK. **Enhancing the Storm**

**Water Treatment Performance of Constructed Wetlands and Bioretention Basins.** Springer Singapore: Imprint: Springer, Singapore. 2016.

MBWCP. **WSUD technical Design Guidelines for South East Queensland.** Moreton Bay Waterways and Catchment Partnership, Australia, p 351, 2006.

MELBOURNE WATER. **Water Sensitive Urban Design Guidelines-South Eastern Councils**, 44 p., 2013. Disponível em < <https://www.melbournewater.com.au/Planning-and-building/Applications/Documents/South-Eastern-councils-WSUD-guidelines.pdf>> visualizado em 15 de Março de 2017.

MELBOURNE WATER. **WSUD engineering procedures: stormwater/Melbourne Water.** CSIRO Publishing, Melbourne, 2005.

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, C. D.; CIRILO, J. A. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas.** Ambiente Construído 14(4), p.147-165, 2014.

MINESSOTA POLLUTION CONTROL AGENCY. **Minnessota Stormwater Manual- Design for bioretention.** Disponível em < [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design\\_criteria\\_for\\_bioretention](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design_criteria_for_bioretention)> visualizado em 16 de Abril de 2017.

MOURA, N. C. B. **Bioretensão: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas da chuva.** Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2014.

PACHECO, E. F. **Avaliação quali-quantitativa de uma vala de infiltração pluvial em termos de retenção de contaminantes. Estudo de caso: Distrito do Campeche – Florianópolis- Santa Catarina.** Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental, UFSC, 2015.

PALAZZOLO, J. **Ecohydrological Function of Lower Coastal Plain Bioretention Cells in South Carolina.** Thesis for Master of Science. Clemson University, August 2014.

PEREIRA, M. G.; MELLO, C.R. **Aula Prática 8- Dimensionamento de Condutos Livres (Canais)**. Universidade Federal de Lavras, s.d. Disponível em <  
[http://deg.ufla.br/site/\\_adm/upload/file/8\\_aula%20pratica%208.PDF](http://deg.ufla.br/site/_adm/upload/file/8_aula%20pratica%208.PDF)>  
 visualizado em 26 de Maio de 2017.

PEREIRA, M. M.; SILVA, N. D.; OLIVEIRA F. E. R.; VIANA, P. C.; LIMA, R.N.; LIMA, J. G. A. **Determinação da condutividade hidráulica saturada em um permeâmetro de carga constante**. Congresso Nacional de Irigação e Drenagem, 2015. Disponível em <  
<http://www.abid.org.br/cd-xxv-conird/PDF/178.pdf>>

POMPEO, C.A. **Sistemas Urbanos de Microdrenagem**. Abril, 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Relatório Final, Estudo 3, Crescimento Urbano, Florianópolis**. 2015. Disponível em <  
[http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/27\\_08\\_2015\\_9.30.19.2d57c5303b800097ab78796419b761af.pdf](http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/27_08_2015_9.30.19.2d57c5303b800097ab78796419b761af.pdf)> visualizado em 20 de Maio de 2017.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. **Bioretention Manual**. Environmental Sciences Division, Environmental Services, Prince George's County, MD, 206p, 2009.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. **Bioretention Manual**. Programs and Planning Division, Department of Environmental Services, Prince George's County, MD, 2001.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. **Low-Impact Development design strategies: an integrated design approach**. Department of Environmental Resources, Prince George's County, MD, 1999.

QIN, H.; LI, Z.; FU, G. **The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics**. Journal of Environmental Management, v. 129, p. 577-585, 2013.

ROY-POIRIER, A; CHAMPAGNE, P; FILION, Y. **Review of Bioretention System Research and Design: Past, Present, and Future**. Journal of Environmental Engineering, v. 136, issue 9, September 2010.



SILVA, B.; FRANCALACCI, M. S. B.; FARIAS, T. E. F.; **O impacto ambiental do espaço construído: estudo de caso em Florianópolis.** Revista Técnico Científica do IFSC 1.5 , 2015.

SIMIONI, W. I; GHISI, E.; GÓMEZ, L.A. **Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais em postos de combustíveis: estudos de caso.** I Conferência latino-americana de construção sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2004.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial.** Tese de doutorado . Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2002.

TONIOLO, BUSNELLO. **Brita 3.** Disponível em <<http://www.tbsa.com.br/produtos-e-servicos/brita-e-asfalto/brita-3>> visualizado em 1 de Junho de 2017.

TROWSDALE, S. A.; SIMCOCK, R. **Urban stormwater treatment using bioretention.** Journal of Hydrology, v. 397, n. 3, p. 167-174, 2011

TUCCI, C. E. M.. Drenagem urbana. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 55, n. 4, Dec. 2003. Disponível em <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso)> Acessado em 23 Mar. 2017.

TURK, R. P.; KRAUS, H. T.; HUNT, W. F.; CARMEN, N. B. & BILDERBACK, T. E. **Nutrient Sequestration by Vegetation in Biorretention Cells Receiving High Nutrient Loads.** Journal of Environmental Engineering, v. 143, n.2, p. 06016009, 2017.

TZOULAS, K.; KORPELA, K.; VENN, S.; YLI-PELKONEN, V.; KAZMIECZAK, A.; NIEMELA, J.; JAMES, P. **Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review.** Landscape and Urban Planning, v. 81, p. 167-168, 2007.

UCKER, F. E.; ALMEIDA, R. A.; KEMERICH, P. D. C. **Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver**. Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 7, n. 3, 2012.

VERDETEC. **Sistema Vetiver- Conteúdo informativo sobre o sistema vetiver, suas inúmeras aplicações e projetos realizados pela empresa VERDETEC**. 2015 Disponível em <<http://sistemavetiver.blogspot.com.br/p/o-capim-vetiver.html>> , visualizado em 15 de Junho de 2017.

VILELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 2ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil Ltda.

VILLANUEVA, A. O. N. et al. **Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação**. REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina. v. 8, no. 1, p. 5-18, jan./jun. 2011.

VIRGINIA WATER RESOURCES RESEARCH CENTRE. **Bioretention**. Virginia Dcr Stormwater Design Specification, n.9, version 1,8, March 2011.

WANG, J.; CHUA L. H. C.; SHANAHAN, P. **Evaluation of pollutant removal efficiency of a bioretention basin and implications for stormwater management in tropical cities**. Environmental Science: Water Research & Technology, vol. 3, no. 1, pp. 78-91, 2017

WINSTON, R. J. et al. **Certifying the Landscape Community in Rain Garden Installation: the North Carolina experience**. International Low Impact Development Conference, San Francisco, 2010.

ZHANG, X.; CHEN, J.; HU, L. **A type of rainwater ecological treatment technology: Rainwater biofiltration system**. Applied Mechanics and Materials, vol. 295-298, pp. 1502, 2013.

**Apêndice A - Planilha de cálculo para o método da curva envelope (Opção 1 ajustada)**

Area de contribuição: 0,035 ha		Condutividade hidráulica saturada: 0,01864 m/h			Altura meio filtrante ( $\Phi = 0,25$ ): 0,6 m	
Período de retorno: 2 anos		Comprimento (b)= 6m			Altura camada de transição ( $\Phi = 0,30$ ): 0,1 m	
Coeficiente de escoamento superficial: 0,9		Largura (L)= 4,2m			Altura camada de drenagem ( $\Phi = 0,40$ ): 0,5 m	
		Altura (H)= 1,4m			Altura da camada de represamento: 0,2 m	
t (minutos)	t (h)	I (mm/h)	Vazao de entrada (m3/s)	Volume de entrada (m3)	Volume de saída(m3)	Diff(m3)
15	0.25	66.9226	0.005855727	5.270154749	0.2505216	5.01963315
30	0.5	53.5436069	0.004685066	8.433118085	0.5010432	7.93207488
60	1	38.9507016	0.003408186	12.26947101	1.0020864	11.2673846
120	2	23.0424286	0.002016213	14.51673003	2.0041728	12.5125572
240	4	13.7637773	0.001204331	17.3423594	4.0083456	13.3340138
360	6	10.2060133	0.000893026	19.28936523	6.0125184	13.2768468

480	8	8.26010396	0.000722759	20.81546197	8.0166912	12.7987708
600	10	7.01201228	0.000613551	22.08783868	10.020864	12.0669747
720	12	6.13444033	0.000536764	23.18818443	12.0250368	11.1631476
840	14	5.47916458	0.000479427	24.16311578	14.0292096	10.1339062
960	16	4.96864782	0.000434757	25.04198503	16.0333824	9.00860263
1080	18	4.55812747	0.000398836	25.84458276	18.0375552	7.80702756
1200	20	4.21983238	0.000369235	26.58494397	20.041728	6.54321597
1320	22	3.93555797	0.0003444361	27.27341674	22.0459008	5.22751594
1440	24	3.69283998	0.000323123	27.91787025	24.0500736	3.86779665
1560	26	3.48283775	0.000304748	28.52444114	26.0542464	2.47019474
1680	28	3.29909479	0.000288671	29.09801606	28.0584192	1.03959686
1800	30	3.13677836	0.000274468	29.64255552	30.062592	0.42003648
1920	32	2.99219427	0.000261817	30.16131827	32.0667648	1.90544653
2040	34	2.86246693	0.000250466	30.65702086	34.0709376	3.41391674
2160	36	2.74532221	0.000240216	31.13195388	36.0751104	4.94315652
2280	38	2.63893636	0.000230907	31.58806826	38.0792832	6.49121494

2400	40	2.54182862	0.00022241	32.02704058	40.083456	-	8.05641542
2520	42	2.45278331	0.000214619	32.45032319	42.0876288	-	9.63730561
2640	44	2.37079245	0.000207444	32.85918332	44.0918016	-	11.2326183
2760	46	2.29501269	0.000200814	33.25473382	46.0959744	-	12.8412406
2880	48	2.22473266	0.000194664	33.63795783	48.1001472	-	14.4621894
3000	50	2.15934784	0.000188943	34.00972854	50.10432	-	16.0945915
3120	52	2.09834099	0.000183605	34.37082539	52.1084928	-	17.7376674
3240	54	2.04126674	0.000178611	34.72194724	54.1126656	-	19.3907184
3360	56	1.98773942	0.000173927	35.06372338	56.1168384	-	-21.053115
3480	58	1.93742324	0.000169525	35.39672264	58.1210112	-	22.7242886
3600	60	1.8900244	0.000165377	35.7214611	60.125184	-	24.4037229
3720	62	1.84528461	0.000161462	36.03840847	62.1293568	-	26.0909483

3840	64	1.80297588	0.00015776	36.3479937	64.1335296	27.7855359
3960	66	1.76289608	0.000154253	36.65060959	66.1377024	-

Fonte: Autora (2017)

Apêndice B- Cálculo do canal de entrada pela Fórmula de Manning (Opção 1 ajustada)

Formula de Manning para entrada do sistema (canal retangular)						
Comprimento (m)	I	n (concreto)	I (1/2)	Q max (m3/s)		
3.5	0.10%	0.012	0.03162278	0.0481006		
b (m)	y(m)	A (m2)	P (m)	R	R (2/3)	A.R(2/3)
1	0.1	0.1	1.2	0.0833333	0.19078571	0.019079
					Q dim	0.05027645

Fonte: Autora (2017)